METSÄNTUTKIMUSLAITOS
KIRJASTUSASEMA
01590 MAISALA

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

MEDDELANDEN FRÅN SKOGSFORSKNINGSINSTITUTET I FINLAND
PUBLICATIONS OF THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
MITTEILUNGEN DER FORSTLICHEN FORSCHUNGSANSTALT IN FINNLAND
PUBLICATIONS DE L'INSTITUT DE RECHERCHES FORESTIERES DE LA FINLANDE

96

HELSINKI 1982

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

MEDDELANDEN FRÅN SKOGSFORSKNINGSINSTITUTET I FINLAND
PUBLICATIONS OF THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
MITTEILUNGEN DER FORSTLICHEN FORSCHUNGSANSTALT IN FINNLAND
PUBLICATIONS DE L'INSTITUT DE RECHERCHES FORESTIERES DE LA FINLANDE

96

HELSINKI 1982

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

96

Uusvaara, O. 1980. Paavo Aro in memoriam ..... 1— 6
Paavo Aron julkaisuja. List of publications ..... 7— 15

96.1 Harstela, P. 1979. Organizing logging work. Seloste: Puunkorjuutyön organisointi ..... 1— 27

96.2 Uusvaara, O. & Pekkala, O. 1979. Eräiden ulkomaisten ja kotimaisten puulajien puu- ja massateknisiä ominaisuuksia. Summary: Technical properties of the wood and pulp of certain foreign and uncommon native tree species 1— 59

96.3 Hakkila, P. 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Seloste: Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot ..... 1— 59

96.4 Pekkala, O. & Uusvaara, O. 1980. Kuitupuun metsävarastoinnin vaikutus massan saantoon ja laatuun. Summary: Storage of pulpwood in the forest and its effect on the yield and quality of pulp ..... 1— 24

96.5 Kärkkäinen, M. 1980. Mäntytukkirunkojen laatuluokitus. Summary: Grading of pine sawlog stems ..... 1—152

96.6 Salminen, M.-L. 1980. Työntekijän fysiologinen ja biokemiallinen kuormittuminen hakkuutyössä. Summary: Heart rate changes and some biochemical factors during day at cutting work ..... 1— 35

96.7 Kärkkäinen, M. 1980. Tuloksia Rauman alueen mäntytukkien sahauksesta. Summary: Results of sawing pine logs in Rauma region, western Finland 1— 43

96.8 Kärkkäinen, M. 1981. Männyn ja kuusen runkopuun pihkapitoisuuden lisääminen sivutuotesaannon kohottamiseksi. Summary: Increasing resin content in pine and spruce stemwood for higher by-product yield ..... 1— 81

PAAVO ARO

1899—1978

IN MEMORIAM

HELSINKI 1980



PAAVO ARO 1899—1978

PAAVO ARO

1899—1978

IN MEMORIAM

Metsäntutkimuslaitoksen pitkäaikainen metsäteknologian professori Paavo Robert Aro (Arbelius) kuoli 78 vuoden ikäisenä maaliskuun 8 päivänä 1978.

Paavo Aro syntyi 16. 8. 1899 Porin maaseurakunnassa uittopäällikön poikana. Hän tuli ylioppilaaksi 1919 ja suoritti metsänhoitajan tutkinnon 1923.

Aro toimi valmistuttuaan kolmen vuoden ajan erilaisissa tehtävissä mm. oppikoulun opettajana, metsämaiden luokitus- ja mittaustöissä sekä puuston arvioimistehvissä. Vuonna 1926 hän siirtyi metsähallituksen palvelukseen. Uudessa tehtävässään hän suoritti usean vuoden ajan koemittauksia valtion metsistä hakatun puumäärän todellisen kuutiosisällön selvittämiseksi sekä perehtyi käyttöpuun ja hakkuutähteiden välisiin suhteisiin, joista tuolloin oli saatavissa tuskin lainkaan selvityksiä. Tältä ajalta ovat peräisin myös ensimmäiset suomalaisten puutavaralajien pinotiheyttä, kuoren määrää ja kuorimishukkaa koskevat selvitykset. Tutkimusten tuloksia käytettiin edelleen hyväksi mm. Suomen puun käyttöä selvittelevissä tutkimuksissa. Nämä tehtävät herättivät myös hänen mielenkiintonsa siihen tutkimusalaan, jonka parissa hän myöhemmin työskenteli usean vuosikymmenen ajan.

Aron julkaisutoiminnan tyypillinen piirre oli jo alusta alkaen käytännönläheisyys, johon aina liittyi tieteellinen tarkkuus ja tieteelliset tutkimusmetodit. Käytännön töiden ohella Arossa heräsi uudelleen halu opiskeluun, ja kerätyt tutkimusaineistot puolestaan osaltaan mahdollistivat lisätutkintojen suorittamisen. Väitöskirjansa aiheeksi hän valitsi rinnankorkeus- ja katkaisuläpimitan vaikutuksen käyttöpuun ja hakkuutähteiden määrään. Opinnäytetyöt lisensiaatin- ja tohtorintutkintoa varten valmistuivat v. 1935.

1930-luvulla sekä sotavuosina Aro syvensi opintojaan ja paransi kielitaitoaan monilla ulkomaille suuntautuneilla opinto- ja tutkimusmatkoillaan, jotka sota kuitenkin osittain katkaisi. Matkoja hän teki mm. Saksaan, Itävaltaan, Puolaan, Unkariin, muihin Pohjoismaihin sekä Neuvostoliittoon.

Metsähallituksessa kuluneen virkakauden päätyttyä Aro seurasi useiden vanhempien metsätiedemiesten jälkiä menemällä Tuomarniemen metsäopiston metsänhoitajaksi. Tätä virkaa hän hoiti vuoteen 1934, jolloin hän sai hoidettavakseen Helsingin yliopiston metsänhoitotieteellisen ja metsäpoliittisen laitoksen assistentin viran.

Tällöin Aro asettui pysyvästi Helsinkiin. Metsäteknologian tutkimus ja opetus muotoutuivat hänen varsinaisiksi elämäntehtävikseen. Tulevien vuosien aikana hän toimi vuoroin Metsäntutkimuslaitoksen tutkijana ja Helsingin yliopistossa metsäteknologian dosenttina ja vihdoin vt. professorina vuodesta 1945. Sotavuosina hän toimi

myös suomalaisena tutkijana Berliinin kansainvälisessä metsäkeskuksessa. Vuonna 1948 Aro nimitettiin Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian professorin virkaan, jolloin alkoi hänen lähes 20 vuotta kestänyt yhtäjaksoinen toimikautensa maamme metsäteknologisen tutkimuksen johdossa. Aro toimi kuitenkin samanaikaisesti metsätyötieteen opettajana Helsingin yliopistossa ja metsätalouden erikoisopettajana Teknillisessä Korkeakoulussa.

Päähuomion Aro kohdisti tutkimuksissaan metsätyötieteellisiin kysymyksiin kuten aikatutkimuksiin metsätöissä. Erityisesti metsätyövälineiden kehittäminen ja niiden kunnon kohottaminen olivat hänen harrastuksensa kohteina. Juuri tällä alalla hänen työnsä oli uraa uurtavaa.

Metsäntutkimuslaitoksen professorina Aro seurasi tiiviisti metsätalouden nopeaa sodanjälkeistä kehitystä ja tiedosti sen metsäteknologiselle tutkimukselle asettamat vaatimukset. Hän ymmärsi jo varhain koneellistamisen merkityksen metsätöissä ja pyrki viemään kehitystä eteenpäin omassa tutkimuskentässään. Tämä ilmenee hänen lukuisista metsätöiden koneellistamista sekä puutavaran kuorintaa ja uittoa koskevista tutkimuksistaan ja kirjoituksistaan. Tästä huolimatta hän ei kuitenkaan unohtanut itse ihmistä, vaan metsätyömiehen ammattitaidon ja työmenetelmien kehittely ja työn rasittavuuden vähentäminen olivat aina lähellä hänen sydäntään.

Toinen merkittävä ala, jolle Aro uhrasi paljon aikaa, oli eri puutavaralajien hinnoittelussa tarvittavien kuutioimistaulukoiden ja mittayksiköiden välisten muuntolukujen kehittely ja uusiminen. Aro toimi myös v. 1959 perustetun Puutavaramittauskomitean puheenjohtajana. Tämä antoi hänelle erinomaiset mahdollisuudet johtaa tutkimustyötä, jonka perusteella vahvistettiin valtakunnalliset puutavaran mittauksessa käytetyt muuntoluvut.

Aron varsinaisessa työkentässä henkilökohtainen tutkimustoiminta kohdistui pääasiassa metsätyöhön sekä puutavaran mittaukseen. Metsäteknologian professorina toimiessaan hän ei kuitenkaan unohtanut osaston toista tutkimushaaraa, puuteknologiaa, jota hän samanaikaisesti vei eteenpäin osin omin tutkimuksin ja osin alaisiaan ohjaten ja kannustaen.

Varsinaisen tutkimustoiminnan lisäksi Aro vaikutti julkisuudessa myös muulla tavoin. Hän julkaisi kaikkiaan noin 200 erilaista artikkelia ja kirjoitusta alan koti- ja ulkomaisiin aikakaus- ja sanomalehtiin sekä oppi- ja käsikirjoihin. Hän toimi Metsänhoitajaliiton sihteerinä, Metsäntehon tieteellisenä asiantuntijana, Metsäntutkimuslaitoksen edustajana metsätyöntutkimuksen pohjoismaisessa yhteistyössä, Pienpuualan toimikunnan jäsenenä sekä Metsätieteellisen Seuran sihteerinä. Lisäksi hän kuului jäsenenä lukuisiin kansainvälisiin alan järjestöihin. Metsäsanakirjan toimitustyössä Aro oli mukana useaan otteeseen, jopa vielä eläkkeelle vetäydyttyään.

Metsäntutkimuslaitos kunnioittaa professori Paavo Aron elämäntyötä omistamalla Metsäntutkimuslaitoksen Julkaisuja -sarjan niteen numero 96 metsäteknologiselle tutkimukselle, jonka kansainvälisestikin arvostettu asema juontaa laitoksessa yhä vieläkin juurensa hänen pitkäaikaisesta toiminnastaan tiedemiehenä ja metsäteknologian tutkimusosaston päällikkönä.

Olli Uusvaara

PAAVO ARO

1899—1978

IN MEMORIAM

Professor Paavo Robert Aro (Arbelius) who held the chair in Forest Technology, the Finnish Forest Research Institute, for a long time, died at the age of 78 on March 8, 1978.

Paavo Aro was born on August 16, 1899, in the rural commune of Pori. His father was floating superintendent. He matriculated in 1919 and took the forester's examination in 1932.

After graduating Aro was employed for three years in various posts, e.g., secondary school teacher, forest soil classification and measuring work, and growing stock surveys. He joined the National Board of Forestry in 1926. Here he worked for several years on test measurements of the true cubic content of the timber cut in State forests and studied the relations between useful wood and logging waste on which hardly any investigations had been published in those days. From this period date also the first reports on the solid content of Finnish timber assortments, the amount of bark and the barking loss. The results of the studies were used in research on the utilization of wood in Finland. These assignments aroused his interest in the branch of research that engaged his attention for several decades.

A typical feature of Aro's publication activity from the outset was the practical approach, always combined with scientific accuracy and scientific methods of investigation. Along with the practical work Aro felt an urge for further studies and the investigation materials collected helped him in this work. The subject of Aro's doctoral dissertation was the effect of breast height and cutting diameters on useful wood and the volume of logging waste. His Licentiate and Doctor of Forestry studies were completed in 1935.

In the 1930s and during the war years Aro went more deeply into his studies and improved his linguistic knowledge on many foreign study and research trips, though the war interrupted them. He visited i.e. Germany, Austria, Poland, Hungary, the other Nordic countries and the Soviet Union.

After his term with the National Board of Forestry Aro followed in the steps of several senior forest researchers by joining the Tuomarniemi Ranger School as a forester. He held this post until 1934 when he was appointed assistant at the Institute of Silviculture and Forest Policy at the University of Helsinki.

Aro now settled permanently in Helsinki. Research on and instruction in forest technology became his mission in life. In the succeeding years he was in turn researcher of the Finnish Forest Research Institute and associate professor of forest technology

at the University of Helsinki and, finally, acting professor from 1945. During the war years his activities included research at the international forest centre in Berlin. Aro was appointed Professor of Forest Technology at the Finnish Forest Research Institute in 1948, the start of his unbroken tenure of almost 20 years as the head of Finnish forest technological research. However, Aro was at the same time lecturer in forest work science at the University of Helsinki and special instructor in forestry at Helsinki University of Technology.

Aro concentrated in his research on forest work science questions such as time studies. He took a particular interest in the development of forest work tools and their improvement. His work was of pioneering nature in this branch.

As a professor at the Finnish Forest Research Institute Aro followed closely the fast post-war progress of forestry and recognised the demands it made on forest technology research. He was already aware of the significance of mechanization in forest work and sought to advance this development in his own field of study. This appears from his numerous studies and articles on the mechanization of forest operations, the barking of timber and floating. For all of this, he did not forget man himself. On the contrary, developing the occupational skill of the forest worker and of working methods and reducing the work load were always causes close to his heart.

Another significant field for Aro was the development and revision of the volume tables needed for pricing timber assortments and the conversion factors between units of measure. Aro was also chairman of the Timber Scaling Committee established in 1959. This gave him an excellent chance of leading the research that resulted in the confirmation of the coutry-wide conversion factors used in timber scaling.

Aro's actual field of work and personal research were concerned mainly with forest work and timber scaling. However, while in the chair of forest technology he did not forget the department's other branch of research, wood technology, which he promoted concurrently, partly through his own studies and partly by guiding and encouraging his subordinates.

In addition to actual research, Aro published about 200 articles and reports in both domestic and foreign journals and newspapers and hand- and text-books. He was secretary of the Society of Finnish Foresters, scientific advisor to Metsäteho (The Forest Work Study Section of the Central Association of Finnish Forest Industries), representative of the Finnish Forest Research Institute in Nordic cooperation in the study of forest work, member of the Small-Sized Timber Research Commission, and secretary of the Society of Forestry in Finland. Aro was also a member of numerous international organizations in the branch. He participated in the editorial work for the Forest Dictionary, even after his retirement.

The Finnish Forest Research Institute honours the life's work of Professor Paavo Aro by devoting volume No. 96 of the Communicationes series of the Institute to forest technology research. The international role of this work can still be traced back to his long activity as a scientist and Head of the Department of Forest Technology.

Olli Uusvaara

PAAVO ARON JULKAISUJA — *LIST OF PUBLICATIONS*

Koonnut Olli Uusvaara

1928

Pinopuutavarain pino- ja kiintomitan välisiä suhdelukuja. Commun. Inst. For. Fenn. 13:1—12.
Puutavaran mittauksesta ja mittaustulosten käytöstä. Tapio 11:371—379.
Hakkuutähteet tarkemmin talteen. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 10. 1.
Onko metsänhoitosuunnitelma tarpeellinen? Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 5. 7.
Pienpuutavaran mittaus. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 18. 9.

1929

Tutkimuksia hakkausmäärän jakaantumisesta käyttöpuun ja tähteitten kesken. Edeltäviä tiedonantoja. Summary: An investigation into the apportioment of the quantity of wood cut between the wood used and the waste left in the forest. Commun. Inst. For. Fenn. 14(3):1—49.
Tutkimuksia kuusipaperipuiden ja kaivospölkkyjen kuorimäärästä ja kuorimishukasta. Summary: An investigation into the quantity of bark and the wastage of barking in spruce pulp-wood and pitprops. Commun. Inst. For. Fenn. 14(4):1—40.
Pinopuutavarain kiinteän kuutiomäärän laskeminen. Tapio. Kiintomittataulukkoja: 43—62.
Hakkausmäärän laskemisesta. Metsämies 4:97—103.
Vähäsen työtieteestä. Metsätal. aikak. kirja 4:139—140.
Eräitä huomioonotettavia seikkoja metsässä suoritettavia töitä tutkittaessa ja työntuloksia arvosteltaessa. Tapio 3:79—81.
Metsätiede — käytännön tiede. Tapio 3:212—213.
Metsälaiduntamisen haitoista. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 28. 5.
Mäntymetsien uudistaminen. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 9. 7.
Eri paperipuulaatujen valmistuksen kannattavaisuudesta. Tapio 8:273—276.
Vertailuja erilaisten paperipuiden ja kuusihalkojen hintojen välillä. Tapio 12:420—423.
Metsäteknologisella tutkimuksella on maassamme selvitettävänä useita tärkeitä kysymyksiä. Maas. Tulev. 71 V. 29. 6.
Paperipuiden kuorimisesta. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 19. 12.

1930

Kantohintapiirroksia. Tapio: 1—12.
Eräitä huomioonotettavia seikkoja puutavaramittauksissa. Alenevin puolin tuumin mittauksesta sekä ylimitasta. Tapio 5:92—94.
Metsien hakkaustähteet ja kulovalkeat. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 26. 5.
Paperipuun kuorimisapuneuvokilpailu. Tapio 10:206—214.

1931

Tavallisimpien suomalaisten pinopuutavarain pinotiheys. Referat: Über den Festgehalt der wichtigsten finnischen Schichtholzsortimente. Commun. Inst. For. Fenn. 14(5):1—109.

Metsätuotteiden käytössä kansantaloudelliset näkökohdat enemmän huomioon. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 19. 3.

Finnischer Wettbewerb um das beste Gerät zum Entrinden. Forstarchiv 15:294—298.

Metsätyötieteen tehtävistä. Maatalous 7:187—188.

Metsätyötieteellisestä tutkimuksesta Saksassa. Metsätal. aikak. kirja 6:157—160.

Ensi talven metsätyöpalkoista. Tapio 17:356.

Hakkaustähteitä on ehdottomasti ruvettava käyttämään. Tapio 20:423—424.

Työtehokysymyksiin on metsätaloudessakin kiinnitettävä vakavaa huomiota. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 7. 12.

Pinopuutavarat. Puutavarain kuutioon perustuvain hintavertailulaskelmien suorittaminen. Tapion taskukirja 7. painos: 149—161. Helsinki.

1932

Klenvirket, hyggesavfallet och dess ändamålsenliga tillgodogörande. Forstl. Tidskr. 3:62—65.

Puun kuivumisen aiheuttaman kutistumisen vaikutus tilastoissa esitettyihin puumääriin. Kirjallisuuteen perustuva selvittely. Liitteenä julkaisussa: Eino Saari: Puun käyttö Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 14(1) (Liite 1):1—28.

Hakkaustähteiden suhteellinen määrä eräissä yleisesti esiintyvissä tapauksissa. Julkaisussa: Eino Saari: Puun käyttö Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 14(1) (Taulukko 125).

Arvioitu hakkausmäärä ja todellinen hakkaustulos. Tapio 21—22:473—475.

1933

Metsässä suoritettavien talvitöiden suunnittelemisesta. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 26. 1.

Puutavaran mittauksessa käytettävien mittausvälineiden vakaamisesta. Metsälehti 49:1—5.

Suomalainen pinopuutavaran pinotiheys ja sen suuruuteen vaikuttavat tekijät. Yksityismetsänhoitajayhd. vuosikirja IV:53—62.

1934

Psykoteknilliset kokeet metsäammattimiesten valinnassa. Referat: Die psychotechnischen Prüfungen bei der Wahl von Forstfachmännern. Acta For. Fenn. 40:1—30.

Tukeiksi vai paperipuiksi. Metsälehti 37:1—4.

Erikoiskurssi 25. B:n syntyhistoria. RUK 1933—1934:51—52. Hamina.

Kun metsänhoitajat olivat RUK:ssa. RUK 1933—1934:53—54. Hamina.

Tutkimuksia rinnankorkeus- ja katkaisuläpimitan vaikutuksesta käyttöpuun ja hakkuutähteiden määrään. Referat: Untersuchungen über den Einfluss des Brusthöhen- und Minimaldurchmessers auf die Menge des Gebrauchsholzes und der Hiebsreste. Commun. Inst. For. Fenn. 20(4):1—84.

Metsien hakkuussa syntyneet hakkuutähteet. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 14. 2.

Hyytiälän 25-vuotisjuhla 4 ja 5 päivä elokuuta. Metsätal. aikak. kirja 174—176.

Kirveen hiomisesta. Metsälehti 39:1—4.

Kirves ja saha ansaitsevat suurempaa huomiota. Metsälehti 39:1—4.

Kotitarvehalkojen hakkuu ja hoito. Metsälehti 34:1—5.

Metsien leimausaika. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 25. 6.

Metsien paljaaksihakkaus. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 14. 10.

1936

Metsätyöpalkat. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 20. 1.
Neuvostoliiton hallinnolliset alueet ja metsätaloutta sekä puunjalostusteollisuutta ohjaavat elimet ja laitokset. Metsätal. aikak. kirja 6:155—157.
II kansainvälisen metsäkongressin päätökset. Metsätal. aikak. kirja 7—8:193—196.
Neuvostoliiton metsä- ja puutavaratilastoista. Metsätal. aikak. kirja 9:221—223.
Brigaardit ja jatsheikat. Metsälehti 3:7.
Aikatutkimuksia koivuhalkojen teosta. Referat: Zeitstudien in der Hauung von Birkenbrennholz. Commun. Inst. For. Fenn. 23(4):1—153.
Uusi puutavaran luokittelu- ja mittausasetus tulee voimaan ensi syksynä. Metsälehti 21:1—6.
Puutavaran luovutuksesta. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 23. 3.
Minkälaista on laatupuu? Metsälehti 23:1—5.
Puunkäytön lisääminen. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 15. 6.
Metsätalouden historiaa koskevaa kirjallisuuttamme. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 7. 10.
Jalostamattoman puutavaran mittaustapojen yhtenäistyttämisestä. Maatalous 10:256—259.
Die finnischen Untersuchungen über die Reduktionsfaktoren bei Umrechnung der Messungergebnisse von Holzwaren. II Congrès International de Sylviculture Budapest 10—14. September 1936. Actes deuxième volume: 551—558. Budapest.

1937

Kirvesvarren mitoista ja muodoista. Metsätal. aikak. kirja 1:13—15.
Kertomus Suomen Metsänhoitajaliiton ensimmäisen 10-vuotiskauden toiminnasta 1—32. Kirjapaino-Osakeyhtiö Sana. Helsinki.
Metsät ja kotimainen työ. Karjala, 13. 10. 1937:2.
Koivuhalkojen teko aikatutkimuksien valossa. Metsätietoa 2(2):63—71.
Metsätyökalujen tarkoituksenmukaisuus vielä varsin hämärä. Metsätalous 4:1—81.
Pinopuutavarat — Hintavertailujen suorittaminen. Tapion taskukirja 8. painos: 138—146, 149—157. Helsinki.
Isännän kävelymatka metsäpalstalle. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 5. 7.
Metsät ja kotimainen työ. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 9. 10.
Ovatko kurssit metsätyöläisten ammattitaidon kohottamiseksi tarpeelliset? Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 1. 11.
Puutavaran mittauslaki. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 27. 12.

1938

Alkaneen vuoden metsäkysymyksiä. Metsätal. valistustoim. kiertoartikkeli 31. 1.
Saksassa on urakkatyö rajoitettu 8 tuntiin. Metsälehti 40:1—2.
Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta v. 1934—1937. Acta For. Fenn. 47(1):1—86.
Puutavaran mittauslaki. Metsämies 2:32—33.

1939

Hakkaustapatilasto. Silva Fenn. 52:220—227.
Über die Entwicklung der Forstwirtschaft in Finnland während der Selbständigkeit. J.ber. Deut. Forstver.: 153—155. Berlin.
Metsätyöläisopetuksesta Ruotsissa ja Saksassa. Metsämies 6:231—232.

Suomen metsänhoitajaliiton viimeaikainen toiminta metsänhoitajain palkkauskysymyksessä. Metsätal. aikak. l. 3:1—42.
Työnjohto-opetuksesta Ruotsissa ja Saksassa. Metsätal. aikak. l. 6:109—112.
Valtakunnan metsänhoitajan Herman Göringin metsästyslounaalla Schorfheidessa. Metsätal. aikak. l. 7—8:129.
Eräistä työnjohdon tehtävistä halonhakkuutöissä. Metsätal. aikak. l. 9:154. Metsälehti 41:1—8.
Suursaksan metsäpäivillä lukuisia esitelmiä ja retkeilyjä. Metsälehti 29:1—2.
Puolan metsistä ja metsätaloudesta. Metsälehti 38:1—7.
Metsätöiden rationalisoiminen on aloitettava metsätyömiehestä. Metsälehti 2:1—3.

1940

Metsätyökaluopas: 1—55. Helsinki. (Yhdessä K. J. Branderin ja H. Willmanin kanssa).
Rasiinkaadon kaatopaikoista ja työtuloksista. Metsälehti 24:1—4.
Halonhakkaajille on annettava työohjeita sekä neuvoja työkalujen valitsemisessa ja kunnostamisessa. Metsämies 7:157—161.
Rasiin kaadettujen puiden valmistaminen haloiksi. Metsälehti 30:1—3.
Ohjeita halonhakkaajille. Metsälehti 18:1—5 ja 19:1—5.

1941

Die wichtigsten finnischen Scheitersägen und Äxte. Les scies à bûches et les haches les plus répadues en Finlande. Englannin-, ranskan-, saksan-, italian- ja espanjankielinen selostus. Intersylva, Band I 4:400—414, ranskankielisessä painoksessa: 414—417.
Halkojen käsittelytavoista. Metsälehti 22:1—2; 23:1—2; 25—26:1—2.
Pinopuutavarat. Hintavertailujen suorittaminen. Tapion taskukirja 9. painos: 138—150, 154—164. Helsinki.

1942

Neuvoja kirveen ja sahan valitsemisessa ja kunnostamisessa. Metsäkalenteri:247—249.
Halonhakkuuneuvoja. Metsäkalenteri: 250—251, 28—29.
Eräitä halkosahoilla suoritettujen sahauskokeiden tuloksia. Referat: Über einige Ergebnisse von Versuchen mit Scheitersägen. Acta For. Fenn. 50(21):1—13.
Hakkuun ja ajotyön uudestijärjestely. Metsälehti 1:1 ja 7; 3:1—5; 4:1—2.
Suomalaisista metsätyökaluista ja metsätyötavoista. Vapaa Karjala 5:1—4.
Miten sahan hampaat on viilattava? Metsätal. aikak. l. 12:284—286.
Yleisimmät suomalaiset halkosaha- ja kirvesmallit metsätöissä. Metsätal. aikak. l. 5—6:129—132.
Die praktische Auswertung der Ergebnisse der Sägenuntersuchungen in den nordischen und mitteleuropäischen Ländern. L'étude des scies et ses résultats pratiques dans les pays de l'Europe septentrionale et centrale. Englannin-, ranskan-, italian- ja espanjankielinen selostus. Intersylva, Band II, 2:137—145, ranskankielisessä painoksessa: 141—149.

1943

L'étude de scies et ses résultats pratiques dans les pays l'Europe septentrionale et centrale. L'Echo des Bois 52, 1942, 2. 1943.
Grundsätze der Instandhaltung von Waldsägen. Silvae Orbis 13:Fragen der Waldarbeit 23—33.
Arbeitseinsatz für die Holzversorgung in Finnland. Silvae Orbis 13: Fragen der Waldarbeit 67—75.
Miten sahan hampaat on haritettava? Metsätal. aikak. l. 5:1—98.
Kansainvälisen puunkäyttövaliokunnan työsuunnitelmista. Metsätal. aikak. l. 3:16—17.

»Hyvää vauhtia metsätöille.» Ajatuksia uuden metsätyötehofilmin johdosta. Metsätal. aikak. l. 10—11:219—220.
Millainen saha soveltuu halkojen ja paperipuiden tekoon? Metsämies 12:293—294.
Suomen metsätiede ja Kansainvälisen Metsäkeskuksen toiminta sodan aikana. Metsätal. aikak. l. 1:5—7.

1944

Metsäsanakirja. 408 Otava. Helsinki. (Yhdessä Y. Ilvessalon, E. Laitakarin ja J. Lindforsin kanssa).
Die Waldkreditfrage in Finnland. Intersylva 1:32—43.
Sahanvetojen lukumäärä sahan tehon osoittajana. Tehostaja 1:17—18.
Yhdenmiehen ja kahdenmiehen sahat metsätöissä. Metsätal. aikak. l. 5:1—105.
Miten sahan hampaat on viilattava? Hakku, Pioneerien lehti 5:12—13.
Pinopuutavarat. Hintavertailujen suorittaminen. Ketjulasku tukkiluettelon juoksujalkamääriä laskettaessa. Metsätyökalut ja niiden kunnostaminen. Tapion taskukirja, 10. painos: 155—163, 167—177, 181—182, 190—193. Helsinki.
Oikeat rungot oikeaan tarkoitukseen. Eräitä säästäväisyysnäkökohtia metsän käytössä. Hakku, Pioneerien lehti 11:6—7.
Puutavaran uittoa Theiss-virralla. Metsätal. aikak. l. 11—12:248—249.
Sahan kunnostaminen yksinkertaisemmaksi. Metsämies 9:272—273.
Oikeudenmukainen urakkapalkka hakkuutyössä. Metsämies 10:295—296.
Metsätöiden tehostamisen tarve on nyt entistä suurempi. Metsämies 11:317.
Metsätöiden tehostamisen tarpeellisuus työvoiman lisääntyessä. Metsälehti 41:5.
Die öffentlichen Waldtagungen in Finnland. Intersylva, IV Jahrgang, 2.

1945

Metsätyöntutkimukset. Niiden tarkoitus ja menetelmät. Metsäteho Julk. 1:16—22.
Aikatutkimukset metsätöissä. Metsäteho Julk. 1:28-33.
Työajan jaottelu metsätöissä. Metsäteho Julk. 1:34—38.
Metsäsahojen kunnostamisen pääperiaatteet. Metsäteho Julk. 1:55—67.
Metsätöiden johtaminen. Metsäteho Julk. 1:74—76.
Puutavaran hakkuu on raskasta työtä. Metsämies 1:17—18.
Valtakunnan hakkuumestaruuskilpailujen opetuksia. Metsämies 3—4:61—62.
Työn järjestely metsätöiden tehostamiseksi. Metsämies 3—4:66.
Metsätutkinnon uudet oppiaineet. Metsätyötiede. Metsätal. aikak. l. 2:58—59.
20 vuotta ensimmäisistä metsäpäivistä. Metsätal. aikak. l. 3:77—79.
Ensimmäiset metsätyöntutkimuskurssit. Metsätal. aikak. l. 6—7:215.
Ensimmäiset metsäpäivät vietettiin 20 vuotta sitten. Uusi Suomi 30. 3. 1945.
Kotitalouspuun käyttö. Eräs nykytilanteen avainkysymyksiämme. Pellervo 5:112.
Työfysiologisista tutkimuksista metsätöissä. Tehostaja 2:39—40.
Työntutkimuksia valtakunnan hakkuumestaruuskilpailussa. Tehostaja 10:310—313.
Onkamon Viki harrastaa työn tehostamista. Metsälehti 4:6.

1946

Metsätyötieteellisiä luentoja. Eripainoksia Metsätehon julkaisusta 1 »Metsätyötutkimukset»:1—35.
Metsätyönjohtajan tehtävät. Metsämies 6:126.

1947

Yhden halkopinokuutiometrin käsittelyaika. Työtehotietoa 1:24—25.
Paperipuiden valmistaminen rankoina. Metsälehti 15:6.
Metsätöiden rationalisoiminen. Suomen puu 10:145—152, 11:158—161.
Dosentti Paavo Aron valituskirjelmä Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan ehdolle panosta metsäteknologian varsinaiseen professorin virkaan. 26 s. + 14 s. liitt. Helsinki. 1947.
Metsätyöntutkimus ja rationalisoimistoiminta muissa maissa. Metsäteho Julk. 2:11—14.
Eri maiden metsätyökalut tilastotutkimuksien valossa. Metsäteho Julk. 2:15—16.
Pinopuutavarat. Hintavertailujen suorittaminen. Ketjulasku tukkiluettelon juoksujalkamääriä laskettaessa. Metsätyökalut ja niiden kunnostaminen. Työvaikeuden luokittelu metsätöissä. Työtulokset puutavarain teossa ja ajossa. Metsätöiden palkkaperusteet. Tapion taskukirja 11. painos:156—164, 168—178, 182—183, 188—206. Helsinki.
Työn tehostamisessa on metsätalouden tilanteen ratkaisu. Helsingin sanomat 353. 1947.

1948

Pölli-Pekka tutkii puun rakennetta. Jätkän kalenteri 1949:127—129. Helsinki 1948.

1949

Pinopuutavarat. Hintavertailujen suorittaminen. Ketjulasku tukkiluettelon juoksujalkamääriä laskettaessa. Metsätyökalut ja niiden kunnostaminen. Työvaikeuden luokittelu metsätöissä. Työtulokset puutavarain teossa ja ajossa. Metsätöiden palkkaperusteet. Tapion taskukirja 12. painos: 250—258 ja 266—297. Helsinki.
Metsäteknologian tutkimuksemme. Metsämies 6—7:185.

1950

Co-ordination of distribution of working time and of methods of tool study in forest work studies. Proceedings of the III world forestry congress, 3. Special papers. Section IV:315—318. Helsinki.
Waldsägeuntersuchungen in den nordischen und mitteleuropäischen Ländern. Selostus: Metsäsahatutkimukset Keski- ja Pohjois-Euroopassa. Acta For. Fenn. 57(3):1—135.
Metsätöiden koneellistaminen on kiireellisimpiä tehtäviämme. Kauppalehti 297.

1951

Der Stand der forstlichen Arbeitswissenschaft in Finnland. Mitteilungen der Geffa. Die Forstarbeit 1:3—4.
Metsätyöt mahdollista meilläkin koneellistaa. Keksijäinto olisi saatava ohjatuksi oikeille urille. Kauppalehti 57. 9. 3. 1951.
Voidaanko metsätöitä koneellistaa? Metsämies 5:87—88.

1952

Unohdammeko ihmisen. Metsätal. aikak. l. 2:55—56.
Suomen Metsänhoitajaliiton alkuvuosien toiminnasta. Metsätal. aikak.l. 3—4:67—68.
Vereinheitlichung der Zeitverteilung in den forstlichen Zeitstudien. Z. Weltforstw. 15(3):100—101.

Metsäteknologiset kysymykset Turun Akatemian väitöskirjoissa. Summary: Forest technology problems in the theses of Turku Academy. Commun. Inst. For. Fenn. 40(10):1—9.

Havupuurankojen kuutioimistaulukko. Maatalousministeriön päätös rankoina myytyjen havupuiden mittauksesta Pohjois-Suomessa latvaläpimittaa käytettäessä. Suomen asetuskokoelma 147. 20. 3. 1952.

1953

Rankojen mittaustutkimus käynnissä maan eteläosissa kuusi- ja mäntypaperipuurankojen kuutioimistaulukoiden laatimiseksi. Metsälehti 40:1—2.

1954

Havupuurankojen kuutioimistaulukot Oulujoen vesistölle valmistuneet. Metsälehti 47:1—2.

Vorschlag zur Vereinheitlichung der Zeitverteilung in den forstlichen Zeitstudien. 11. Kongress des Internationalen Verbundes Forstlicher Forschungsanstalten asiakirjat. 11 ième Congrès Rome 1953: 915—920. Firenze 1954.

Über die Ursachen der Massuntershiede beim Ausfuhrpapierholz. — Vientipaperipuun mittaerojen syistä. Acta For. Fenn. 61(7):1—17.

Uusi ehdotus työn ja työajan jaottelun yhdenmukaistamiseksi metsätyön tutkimuksissa. Ett nytt förslag till förenhetligande av arbetets och arbetstidens indelning vid skogliga tidstudier. Ein neuer Vorschlag zur Vereinheitlichung der Arbeits- und Arbeitszeiteinteilung in forstlichen Zeitstudien. A new scheme for greater uniformity in the classification of work and working time in forestry time studies. Commun. Inst. For. Fenn. 44(7):1—38.

1955

Uittohäviöön vaikuttavat tekijät. Kirjallisuustutkimus. Summary: Factors influencing loss during floating. Study of literature. Commun. Inst. For. Fenn. 42(8):1—88.

Uittohäviöön vaikuttavista tekijöistä. On the factors affecting floating losses. Suomen Uittajainyhd. Vuosik. 1954 XXIV:158—186.

Metsätyömiesten koulutus Saksassa. Uusi Suomi 30. 11. 1955.

1956

Pinopuutavarat. Hintavertailujen suorittaminen. Ketjulasku tukkiluettelon juoksujalkamääriä laskettaessa. Metsätyökalut ja niiden kunnostaminen. Tapion taskukirja. 13. painos:263—274, 282—299. Helsinki.

Työtuloksia erilaisissa metsätöissä. Metsäkalenteri: 209—215. 1950, 123—129. 1951, 113—119, 122—128. 1953, 122—128. 1954, 122—128. 1955, 119—124. 1956. Vammala.

1957

Raivaussahatutkimuksesta. Metsälehti 5:6—7.

Puutavaran määrien ja hintojen vertailu. Metsäkäsikirja 2: 311—315, 418—420. Helsinki.

Tutkimuksia kuusiohutpuun kuorintahäviöstä »Jätkä»-kuorimiskonetta käytettäessä. Pienpuu. Toimik. Julk. 28:1—14. (Yhdessä P. Nisulan kanssa).

Tutkimuksia ohutpuun kuorintahäviöstä rumpukuorinnassa. Pienpuu. Toimik. Julk. 30:1—7. (Yhdessä T. Korpelan kanssa).

Tutkimuksia koivuselluloosapuun kuorintahäviöstä. Pienpuu. Toimik. Julk. 31:1—11. (Yhdessä T. Korpelan kanssa).

1958

On what basis should a uniform international time classification in forest work time studies be constructed. Papers 12th Congress of International Union of Forest Research Organizations, Oxford 1956, Vol. 4:145—149. London.

Kokeiluja kuusiohutpuun kuorintahäviöstä »Cambio»-kuorimiskonetta käytettäessä. Pienpuu. Toimik. Julk. 29:1—4. (Yhdessä P. Nisulan kanssa).

Nov predlog kako da ce poedinstveni raspodelbata na zadatokot vo schumarskite proutshuvania za utroschokot na vremeto. Referat: Ein neuer Vorschlag, wie man die Ausgleichsverteilung der Arbeit mit der Zeit bei der Ausführung der Aufgabe im Forstwesen-Studieren, Zeitverausgaben (Zeitverbrauch) machen soll. Schumarski pregled. Journal of For. 1—2:19—27.

Metsäteknologisesta tutkimuksestamme. Summary: On Foresttechnological Research in Finland. Paperi ja Puu 5:273—275.

Näkymiä metsäntutkimuslaitokselta. Metsäteknologian tutkimusosasto. Metsätal. aikak.l. 7:233—234.

Nov predlog za peonotenje delitve dela in delovnega časa pri gozdarskem proučevanju porabe časa. Gozdarski vestnik 4—5:158—160, 6—7:200—202.

Kuusi- ja mäntypaperipuurankojen kuutio- ja mittaustaulukoita. Referat: Kubik- und Aufnahmetabellen für Fichten- und Kiefern-Faserlangholz. Commun. Inst. For. Fenn. 49(8):1—80. (Yhdessä P. Nisulan kanssa).

Tutkimuksia kuusiohutpuun ja koivupaperipuun kuorimishäviöstä. Referat: Untersuchungen über den Entrindungsverlust bei Fichtendünnholz und Birkenzellstoffholz. Commun. Inst. For. Fenn. 50(2):1—29. (Yhdessä T. Korpelan ja P. Nisulan kanssa).

Pohjois-Suomen 2 m kuusi- ja mäntypaperipuiden pinotiheydestä, kuorimishäviöstä ja kuutiosuhteista. Referat: Über den Festgehalt, den Entrindungsverlust und die Kubikmassenverhältnisse von 2 m Fichten- und Kiefernzellstoffholz aus Nordfinnland. Commun. Inst. For. Fenn. 50(8):1—32.

1959

Nippujen kuutioimistaulukot 2 m ja 4 m kuusipaperipuille. Pienpuu. Toimik. Julk. 81:1—6.

Pinopuutavarat. Hintavertailujen suorittaminen. Ketjulasku tukkiluettelon juoksujalkamääriä laskettaessa. Metsätyökalut ja niiden kunnostaminen. Tapion taskukirja. 14. painos: 265—276, 284—302. Helsinki.

Zur Arbeitsanalyse. Vorträge und Diskussionsreferate von der Tagung der Sektion 32: Arbeitswissenschaftliche Forschung in Stockholm 30. August—3. September, 1958. IUFRO. For. Res. Inst., Dep. operational efficiency, Stockholm 51. Sweden 1959.

Tiedonantoja tutkimuksista Pohjois-Suomen 2 m kuusi- ja mäntypaperipuiden pinotiheydestä ja kuorimishäviöstä. Nippujen kuutiotaulukot 2 m ja 4 m kuusipaperipuille. Metsälehti 17:9.

Kuberingstabeller för buntar av 2 m och 4 m lång granmassaved. Skogsbruket 8:209—210.

Nippujen kuutiotaulukot 2 m ja 4 m kuusipaperipuille. Referat: Kubiktabellen für Bündel von 2 m und 4 m Fichtenzellstoffholz. Commun. Inst. For. Fenn. 51(5):1—37.

Myös metsätöiden kohdalla tarvitaan järjestettyä työfysiologista tutkimusta. Metsälehti 48:5.

Metsätöiden työfysiologiset tutkimukset Ruotsissa. Metsätal. aikak.l. 11:399—400.

1960

Koivuvaneritukkien ja sorvipölkkyjen halkeaminen. Referat: Die Rissbildung in Furnierblöcken und Furnierabschnitten. Commun. Inst. For. Fenn. 52(4):1—41.

Sydänhalkeamat vaneritukeissa ja sorvipölkyissä. Metsätal. aikak.l. 12:437—439.

1961

Kärnsprickor i fanerstock och svarvkubb. Skogsbruket 5:137—139.

1962

Koivuhalkojen, koivupaperipuiden, polttohakerankojen ja ohutpaperipuiden pino- ja kiintokuutiosuhteet. Pienpuu. Toimik. Tied. 66:1—6.

Einige Beobachtungen über die Kernrisse bei der Birke. Commun. Inst. For. Fenn. 55(10):1—10.

1963

Über Entstehung und Entwicklung der forstlichen Arbeitswissenschaft in Finnland. Forstliche Arbeitswissenschaft: 79—82. Hannover.

1966

Havusahatukkien latvamuotoluvut. Summary: Top form factors of softwood saw logs. Commun. Inst. For. Fenn. 61(7):1—77. (Yhdessä P. Rikkosen kanssa).

1967

Metsäsanakirjoja—onko niitä? Silva Fenn. Vol. 1(121):1:68—70.

Metsäntutkimuslaitoksen henkilökunta 1918—1967. Summary: Staff of the Forest Research Institute 1918—1967. Commun. Inst. For. Fenn. 65(2):1—21.

ISBN 951-40-0470-1
ISSN 0026-1610

Helsinki 1981. Valtion painatuskeskus

ORGANIZING LOGGING WORK

PERTTI HARSTELA

Seloste

PUUNKORJUUTYÖN ORGANISOINTI

HELSINKI 1979

ODC 302:308
ISBN 951-40-0380-2
ISSN 0026-1610

HARSTELA, P. 1979. Organizing logging work. Seloste: Puunkorjuutyön organisointi. Commun. Inst. For. Fenn. 96(1): 1—27.

On the basis of work science and common work organization theories a frame of reference for organizing forest work was outlined. Logging work was studied on the ground of common work organization theories and some hypothesis for further investigations were formulated. One of these hypothesis is that better co-operation among different occupational groups would contribute to mental strain, job satisfaction and productivity.

Laadittiin metsätyön organisoinnin viitekehys työtieteellisistä lähtökohdista yleisten työn organisaatioteorioiden pohjalta. Puun korjuutyötä analysoitiin näiden teorioiden ja aikaisempien empiiristen tutkimusten perusteella sekä laadittiin joitakin hypoteeseja jatkotutkimuksia varten. Eräs näistä hypoteeseista on se, että yhteistoiminnan parantaminen korjuuketjun eri ammattimiesryhmien välillä vähentää psyykkistä kuormittumista, parantaa työviihtyvyyttä ja lisää työn tuottavuutta.

Helsinki 1979. Valtion painatuskeskus

CONTENTS

1. INTRODUCTION 4
2. WORK ORGANIZATION AND WORK DESIGN 5
3. DEVELOPING WORK ORGANIZATION 8
31. General 8
32. Developing work organization in logging 10
General 10
Sub-division and simplification of tasks 10
Ability to make decisions on a local level 13
Possibilities of establishing a work rythm and setting standards for individual work 13
Job satisfaction and recognition for work 14
Social contacts and the opportunities for individual development on the job 15
Remuneration, contract work, temporal organization of logging, and shift work 16
Supervision 17
4. DISCUSSION 21
REFERENCES 23
SELOSTE 26

1. INTRODUCTION

In the ODC system, for instance, forest work science is considered to cover among other things the labour protection study (hygiene, safety, accidents), the relationship between man and work, the planning and organization of work, and the sequence of operations (including the composition of gangs). The growing importance of these areas of study has increased the multi-scientific character of work science with respect to the traditional sciences, given rise to new kinds of difficulties in research and, hence, the need to define terms. The topic becomes even more complicated, when planning of work is not only regarded from the technical and economical point of view, but also seen as labour protection. On the other hand, the emphasis of work organization in its wide sense can also be justified by the economic endeavour of a community, the increasing shortage of natural resources, lack of labour force and human reasons.

According to The Nordic Forest Work Study Council work science aims at gaining knowledge of co-operation between work, worker, machines, tools and other capital goods (Skoglig . . . 1963). In agreement with the definition above, organization of work as organization of co-operation is part of work science.

The aim of this study was to outline on the basis of work science and common work organization theories a frame of references for organizing of forest work, to study on the ground of common work organization theories the logging work and to formulate hypotheses for empirical research concerning logging work organization.

The study is part of the investigations by the NSR internordic project »Arbetsmiljö i skogsbruket». The aim of the study is to create a theoretical basis for the empirical survey of the project. Manuscript is read by professors Matti Kärkkäinen and Jouko Hämäläinen. Mrs. Irma Volkman translated the manuscript into English.

2. WORK ORGANIZATION AND WORK DESIGN

Work organization is a system consisting of the interdependencies between concrete elements. The elements are production process, workers, machines and tools, materials and energy (Rantalaiho 1977). The system can be devided into task organization and technology. According to Rantalaiho (1977) task organization covers division and co-ordination of labour within the process. Further, the division of work and the co-operation have been regarded as a central factor in work organization (Työolojen . . . 1976). The interdependencies between material elements are covered by technology (Rantalaiho 1977).

Katz and Kahn (1966) have presented a chart of a company organization in which work organization, as described above, belongs partly to a sub-system called production system. Responsibility and power relations are part of a control system, in which activity is controlled by means of responsibility and power policy. The payment system can be seen as a part of the reward and punishment system. In addition, there are supporting, maintenance and adjusting systems in an establishment.

Rohmert et al. (1975) have illustrated work system in a chart in which the system man — technical equipment is embedded in the flow from environmental input into the environmental output. Input and output include material, energy and information. The system is also influenced by the predetermination of the goal and environmental factors. Lippold (1970) regards the interrelationship between labour, tools and the object of work as part of work organization. The interrelations within the labour are part of a larger context, i.e. a relationship between the single moments in the working process.

Tietze (1971) describes working conditions in connection with material conditions of working process (e.g., the object of work, tools, technology, occupational environment, and the joint influence of work due to work organization, equipment and tools), temporal conditions of the working process, social and cultural activities at the working place and management including human relations. According to Harstela (1975, 1978) work organization is an environmental factor or a load factor affecting the system: man — human input — output — strain on the worker. It has been stated that the working conditions are regulated at the macro-level by technological development and its social determinants and at the micro-level

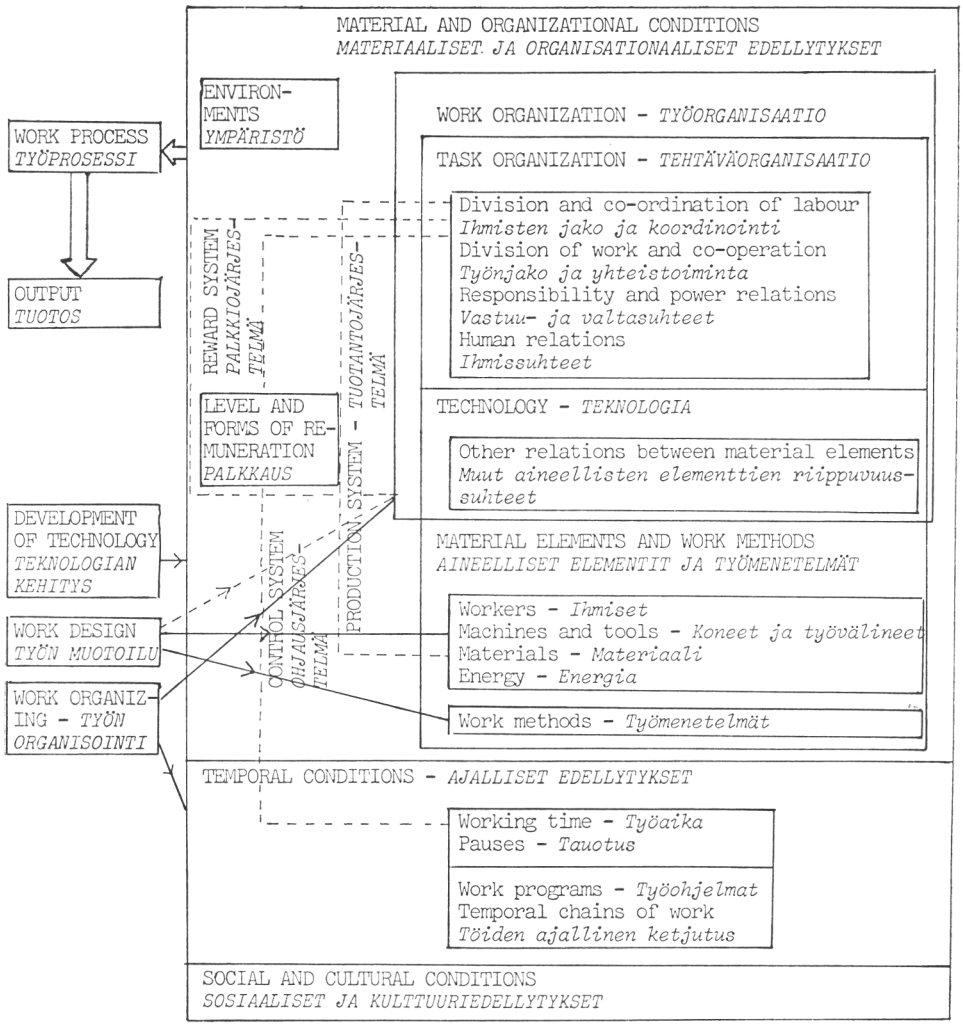


Fig. 1. Work organizing as a part of work system.
Kuva 1. Työn organisointi työjärjestelmän osana.

by the company organization and the occupational specialities. In the organization of production the distribution of labour and the co-operation are essentials (Työolojen . . . 1976).

Work design (job structuring) was sometimes regarded to cover the changes of the whole work organization (B l a c k l e r and B r o w n 1975), and sometimes the changes of a specific method or the work content only (W i l d and B i r c h a l l 1975). Work organizing, on the other hand, was regarded to comprise the fact, how work was devided with respect to work content and time (S e p p ä l ä et al. 1977).

Recently, work organizing and work design have been considered to be connected with the humanization of work, the purpose of which is to improve the quality of working life. Except the improvement in the physical occupational environment, the method can also be to decrease psychical stress by satisfying psychical and social needs, improving work content, occupational roles, management etc. (F r a z e r 1978).

The definitions above were analysed by a content analysis, on the basis of which the system illustration of work in Fig. 1 was constructed. The chart includes the following basic elements: the conditions of working process, the working process and the output of the process. Work design is considered as an activity referring to material elements and working methods and work organizing as an activity changing the organization and the temporal conditions of work.

Some modern theories look upon the operators as being the nucleus of the production system. Co-ordination between the nucleus and the higher organization is a continuous process. There is a temporary stage in the process of adaption between the system nucleus and its environment. Development of man-made system can be compared with development of biological organism (S a r i c 1978). So organizing work in work site level is very important as to the possibilities of the nucleus to self-regulation. Therefore in this study main attention is paid to workers' needs and relations between peoples when organizing work.

3. DEVELOPING WORK ORGANIZATION

31. General

Work organization has developed towards specialization, sub-division of tasks, as well as minimization and standardization of skill, which has been said to be incompatible with human needs. Man has the need to set himself sub-targets in order to experience his achievements and to vary his work pace according to the 24-h rhythm. Work divided into small units is apt to withdraw his attention from it and to give rise to apathy (K l e i n 1976). On the other hand, the development of techniques requires more and more abilities to solve problems and to direct and control processes also locally. The traditional control system in an organization includes shortcomings leading to even more differentiated systems (T h o r s r u d and E m e r y 1971). In the case bonus time rate, for instance, it would be important for the worker to get enough opportunities to influence factors having an impact on the rate of bonus.

E m e r y and T h o r s r u d (1969) as well as K l e i n (1976) have suggested that consideration should be given to the following human needs when organizing and designing work: the need for the content of a job, the needs to learn while on the job, to make decisions, to experience the relationship between work and external environment and to relate work to the expectations for the future, and the need for recognition.

The aim of work design based on human needs is, besides a decrease in the worker's alienation, also an activation of human resources. According to the needs mentioned above, the following criteria have been established as fundamentals for work design:

1. Optimum variety of tasks.
2. A meaningfull pattern of tasks that gives to each job a semblance of a single overall task.
3. Optimum length of work cycle.
4. Some scope for setting standards of quantity and quality of production and a suitable feedback of results.
5. The inclusion of some of the auxiliary and preparatory tasks in the job.
6. The tasks included in the job should demand some degree of care, skill, knowledge or effort that is worthy of respect in the community.
7. The job should make some perceivable contribution to the utility of the product for the consumer.

At the level of the group:

8—10. Providing for interlocking tasks, job rotation or physical proximity where there is a necessary interdependence of jobs, the individual jobs entail a relatively high degree of stress or the individual jobs do not make an obvious perceivable contribution to the utility of the end product.

11. Where a number of jobs are linked together by interlocking tasks or job rotation, they should as a group:
    a) have some semblance of an overall task which makes a contribution to the utility of the product;
    b) have some scope for setting standards and receiving knowledge of results;
    c) have some control over the 'boundary tasks' (i.e. tasks of a service or voluntary character) (K l e i n 1976).

H e r b s t (1974) describes the advance of technical revolution as a process in which jobs are split up into a sequence of elementary operations. A determined task of this type can in principle always be carried out by a machine. This may lead to complete automation. Present-day production employs five types of personnel:

1. Process workers.
2. Monitors, who act as a direct or secondary check on potential process breakdown.
3. Process control staff, whose task is effectively that of managing a total production unit.
4. Preventive maintenance workers.
5. Repair workers.

According to H e r b s t, the ensuing development in work organization leads to the formation of autonomous systems.

In consequence of the statements mentioned above, attention should be paid to the following aspects when organizing and designing work:

— Problems of subdivision and simplification of tasks.
— Ability to make local technical and organizational decisions.
— Possibilities of establishing a work rhythm.
— Possibilities of setting standards of quality and quantity for one's own work and receiving feedback of results.
— Recognition of work from both the worker himself and the environment.
— Opportunities for social contacts.
— Opportunities for the individual's development while on the job.

The effects of working conditions in production can be examined in relationship to worker, output and productivity. From the worker's point of view, working conditions are load or stress factors (e.g., H a r s t e l a 1978). Both physical and psychical strain on worker as well as the strain perceived by himself depend upon, besides working conditions, the worker's characteristics. In the behavioural sciences

it has been shown that attitudes are influenced by environment and social status (e.g., Berelson and Steiner 1964). Accordingly, the priorities and effects of work design are influenced by:

— technical occupational environment and stage of technical development;
— characteristics of worker population;
— workers' living environment and social background.

It can be assumed that in forest work there are typical problems of physical strain attributable to the low degree of mechanization and problems deriving from subdivision of tasks and out-of-date control systems at a high level of automation. In addition, forest work is linked to effects of geographic dispersion, social environments at various levels of status hierarchy, and urbanization. E.g., worker attitudes and opinions may change as a result of urbanization.

32. Developing work organization in logging

General

In Finland forest work is mainly based on individual working. Only informal work groups occur in logging. An exception is the full tree or tree length method of logging, the proportion of which has been reduced to less than 5 % of the total amount of logging (Savolainen 1974). Logging can roughly be divided into manual and mechanized logging. In Finland mechanized logging is based on separate working of single machines, but in many places in the world efforts have been made to concentrate most mechanized operations at central conversion sites. In the following, Finnish logging organization will be analysed on the basis of the criteria listed in the preceding chapter.

Subdivision and simplification of tasks

The variety of tasks has diminished to some extent as a result of mechanization. Manual methods of cutting work have been developed by giving up measuring the bolt length, by simplifying branching and bunching, and by felling for processors only. Among these, the last mentioned task has been simplified most, but in the interview studies workers did not consider even that too great a simplification (Kyttälä 1978). The development in working methods has not led to monotony,

because the job always comprises several operations, such as moving, clearing the butt, and felling, a task which always requires thinking. With regard to simplifying cutting methods criticism was directed against the increase in physical effects, namely:

— Simplifying bucking and branching has raised the proportion of the heaviest task, i.e. bunching, and the greater length of bolts has added to the physical strain caused by work (Valonen 1975).

— Eliminating or simplifying bunching has increased the time of using the power saw and, among other things, the static muscle tension in the shoulder region (Alaniva 1978).

— Separate felling has raised the part of moving and clearing the butt as well as overstrain on the worker during snow periods (Harstela and Valonen 1972) and time of bad working position in felling phase.

The following efforts have been made in order to eliminate these disadvantages:

— Bunching has been simplified and thus become easier (Harstela 1977).

— Attempts to maintain the lightened bunching work as part of the work method, thus keeping the variety of tasks intact (Harstela 1978).

— The influence of snow during separate felling has been reduced by using snow-shoes and applying particular semi-mechanized work methods (Harstela and Valonen 1972, Johansson and Lidberg 1977) and bad working position has been eliminated by felling-handles for motor-saw.

During cutting work physical strains dominate the worker's behaviour to such a degree that even the demand for work organizational measures is directed to reducing physical strain (Harstela 1975).

Variety in cutting work can be promoted by work rotation and including in the job parts of marked-stand planning, marking or measuring, etc. Work rotation has occurred in connection with regeneration work, measurement of standing trees, and some other special tasks. In the case of clear cutting the planning of strip roads has generally been included in the job of the cutting man. The cutting men's attitude towards work rotation has been positive, only the pay for alternative tasks has been criticized. The cutting men's attitude towards planning strip roads has been positive, but negative towards measuring in connection with cutting according to the so-called bolt method. Cutting men preferred more tasks dealing with the planning of marked stand, but machine operators and foremen regarded cutting men as not skilled enough for these tasks. Factor analysis revealed a positive correlation between the level of training and the desire for planning tasks (Kyttälä 1978).

In general, simplifying cutting work has increased the productivity and reduced the costs of logging (e.g., Kahala and Rantapuu 1970). Simplifying bunching has, first of all, aimed at reducing the physical strain of work and increasing the productivity (Harstela et al. 1977), but under certain conditions it also leads to a reduction of costs (Harstela et al. 1977, Kahala and Taipale 1978). No research has been done on the economic effects of work enlargement, work enrichment or work rotation in cutting. Presumably, enlarged and enriched tasks are advantageous only within the limits of the cutting men's experience. Faulty

planning, for instance, may cause great economic losses in mechanized logging (Frisk et al. 1972). Enrichment of work involving an increase in tasks with higher requirements and a greater variety is generally more advantageous with regard to psychical strain than a mere enlargement of work, but it demands also an adequate level of training (e.g., Lahtela 1978) and a positive attitude of the worker (Jääskeläinen 1978). To employ cutting men in seasonal tasks, such as measuring standing trees, is appropriate in order to ensure the supply of man power and to maintain job skills.

In the case of mechanized logging the most highly simplified stage of work has been reached at central conversion sites, which are practically not used in Finland. Using a processor, especially in a landing, may be the most highly simplified work next to central conversion sites. Certainly, at the present level of automation the processor operator has to handle a relatively great number of control equipment and to carry out numerous control movements (Mezals 1971), so that the information load can be considerable. However, operators have reported that the work becomes routine, because of its one-sidedness (Bostrand 1978). Under Finnish conditions, using a processor on the plot has proved to be more economic than the use in the landing (Jukkola and Koskinen 1974); in addition, it also increases the variety of work to some extent.

In some processors, relatively high readings of low-frequency whole-body vibration have been measured during the processing phase (Hansson and Wikström 1974). Correspondingly, the measurements among forest tractor operators have reached similarly high readings (Aho and Kättö 1971), although lower ones have also been measured (Hansson and Wikström 1974). A Swedish study, however, showed that the back pains of machine operators were to be attributed to previous cutting work rather than to operating the machinery (Axelsson 1978). In any case, this investigation did not distinguish between operators of different types of machines.

Heat stress in summer, noise and the strain caused both by working posture and vibration on the upper body were considered the worst disadvantages in mechanized work. It has been suggested that both in processor and harvester work task variation would reduce the risk of occupational diseases and accidents, decrease monotony and increase both job satisfaction and productivity as a result of better co-operation and enhanced operative flexibility in team-work (Ager 1978).

To create multi-faceted jobs the following methods were proposed: enlargement and enrichment of work in the work group, work rotation, employment of an »extra» operator operating different machines in rotation, and the use of overlapping shifts in the case of shift work. These measures are to be supported by a proper remuneration, supervision, adequate training and development of suitable work methods. Investigations have revealed that the operator attitudes are generally positive towards planning and preparatory tasks, and marking trees during cutting in thinnings; that they vary with regard to supervision, and follow-up and maintenance tasks;

and that they are negative towards felling with motor-saw, and other manual work. However, the attitudes towards work rotation and overlapping shifts have generally been positive (Ekelund et al. 1978, Geijer and Liss 1978). An interview study conducted in Finland showed that positive attitudes towards an occasional change of tasks were taken both by machine operators and cutting men. With operators growing older the willingness for work enlargement increased, and this holds true at a higher level of training and job satisfaction as well (Kyttälä 1978).

Simplifying work often means an increase in subdivision of tasks and a decrease in co-operation. It is typical of Finnish logging to distinguish at least the following tasks to be performed by different workers: planning of marked stand and marking, cutting, forest haulage, supervision and control. Delays normally occurring between the first three phases hamper natural development of co-operation. In the interview study reported above workers desired more time on the part of the foremen in order to jointly plan their respective jobs; workers considered inprovement in the planning of marked stand the best way to intensify work, machine operators for their part stressed the improvement in quality of cutting (Kyttälä 1978). These opinions can be interpreted as revealing a need for increased co-operation.

Co-operation with supervisors was desired mainly by cutting men with positive attitudes towards their work and laying emphasis on social needs. Dissatisfaction with the present situation was mostly reported by urbanized operators with minor job satisfaction and a high income level (Kyttälä 1978). Apart from team-work described above, co-operation can also be organized by arranging meetings at the working site in order to analyse problems in the respective logging system. Investigations into the effects of such meetings at the working site have already started. In addition, it is possible to increase participation of different professionals in different work sequences.

Ability to make decisions on a local level

By nature, forest work is independent. The worker is to a great extent free to choose his work method. Decision-making is linked to power and responsibility relationships. The responsibility for marking, the location of strip roads and the choice of landings traditionally rests on the planners, and the worker is not allowed to change them. Job enlargement also means increased opportunities for decision-making, which is easier in the case of autonomous work groups than for individual workers.

Possibilities of establishing a work rhythm and setting standards for individual work

Owing to the free nature of forest work it has been possible to follow an individual rhythm of work. Determination of the length of a working day in peace rate working,

too, has been relatively free. Consequently, the free nature of forest work has in general been considered the most favourable aspect of the job. Mechanization, however, is to some extent narrowing down these possibilities. Harvester operators, for instance, have discovered that a relatively highly automated machine determines the work pace (Geijer and Liss 1978). On the other hand, automation can be assumed to reduce neuro-sensory strain. Yet, since the harvester performs a number of tasks, harvester operators have experienced a greater variety in their work than processor operators (Geijer and Liss 1978).

Similarly, the cutting man is to some degree tied to the time table of the machine operating in the succeeding phase of logging. This becomes most obvious in separate felling for processors. The establishing of a rhythm has, however, remained a matter of free decision. According to the interview study workers feared that the free nature of work will be diminished in the future (Kyttälä 1978). At least to some extent this may be an effect of the opportunity of moving to time rate. Urbanization has increased the regularity in the length of a working day and, hence, facilitates the programming of manual and mechanized work.

Moving to work groups would slightly narrow the individual freedom to set standards of output. Indeed, in the interview study cutting men took relatively negative attitudes towards team-work, whereas the operators' attitudes were contradictory in this subject. Factor analysis showed that positive attitudes among cutting med towards working in group increased with growing emphasis on social needs, e.g. the need for security (Kyttälä 1978). The general dislike of team-work may, in fact, imply that sociability as a personality trait is rare among cutting men. Machine operators, growing older and experiencing their work positively tended to have favourable attitudes towards team-work (Kyttälä 1978).

Job satisfaction and recognition for work

Findings on the job satisfaction among Finnish cutting men are partly contradictory, as the table below indicates:

Data colleetcd in	Researcher	Satisfied with job %	Willing to change job %
1969	Heikinheimo et al. (1974)	68	59
1974	Teikari (1978)	69	77
1976	A big Finnish company	..	8
1977	Kyttälä (1978)	84	..

The figures are not quite comparable, because the questions and response alternatives were a little different. The last two studies refer only to part of Finland. In addition, during the first two investigations there was a boom and plenty of temporary labour employed, whereas the last two studies involved chiefly regular cutting men. Professional cutting men seems to have better job satisfaction, as the distribution in the following table, based on the data by Kyttälä (1978), shows:

Circumstances of employment	Working days in forestry	Satisfied with job %
— written contract	> 200 days per year	93
— » »	100—200 » » »	67
— of regular nature	> 200 » » »	92
— » » »	100—200 » » »	70

Such low a level of job satisfaction may be an indication of living conditions of small-holders. Further, it is possible that the developments in working conditions and forestry ergonomics, which took place in the 1970's, have increased job satisfaction. Workers with positive attitudes towards their job attached importance to contracts being converted to a regular basis. Machine operators had better job satisfaction than cutting men (Kyttälä 1978, Teikari 1978). The greatest reason for willingness to change job has been healthy problems (Vehviläinen 1972, Raitasalo et al. 1973).

No interdependence was found between job satisfaction and productivity, though it has been suggested that a positive correlation exists between attitudes and productivity in the case of workers, who set their own work pace (e.g., Georgopoulos et al. 1957). In peace-rate work, however, earnings are the main motive for work pace, and therefore it is possible that in the case of time rate positive attitudes towards productivity gain more importance.

Recognition for work is one of the job satisfaction factors. Cutting men think that people as a rule did not respect their job (Heikinheimo et al. 1974). When comparing respectability of their job with that of factory work, the machine operators judged their work most negatively. Especially urbanization influenced the estimate. This may reflect the low degree of recognition attributed to forest work in urban surroundings. Contractors judged their job as most highly esteemed (Kyttälä 1978). It can be assumed that the professional nature of forest work increases recognition of the job among both workers and environment, but simultaneous urbanization decreases it.

Social contacts and the opportunities for individual development on the job

As was assumed previously, a characteristic trait of the Finnish cutting man is his minor need for social contacts. Nevertheless, this assumption contradicts the fact that 57 % of the cutting men declared isolation as an unfavourable feature of their job (Kyttälä 1978). Organizational measures with the purpose of creating multi-faceted jobs and of enhancing co-operation, as described above, contribute to social contacts.

In the study conducted by Kyttälä (1978) especially machine operators regarded lack of advancement opportunities as a disadvantage of their job. Becoming

a contractor is often limited by economic circumstances, and the succeeding status level, foreman, requires special training. Work groups may offer chances for advancement, if there is some hierarchial system within the group.

Remuneration, contract work, temporal organization of logging and shift work

Organizing work also covers arrangements of pay, temporal organization of work and supervision. These topics will be treated below only in a very condensed form, even though they are, in fact, wide areas of research. Remuneration is connected to other aspects of organizing work as well and may contribute, e.g. to success in team-work. Effects of remuneration in forestry have been observed among others by Kanninen (1977) very extensively. It has been demonstrated rather convincingly that a pure time rate reduces productivity in forestry. Further, it may reduce physical strain at least in cutting work. As a counterbalance to the reduction of productivity of work, the quality of it may improve slightly, the recruitment of labour may be facilitated, and absence for accidents may decrease but sickness absence may increase. As a matter of fact, the influence of remuneration on the worker's well-being in an intricate field of study, which is affected by the worker's capacity, motivation, work and social environment, income level, and more generally, by his standard of living, etc. Remuneration may further contribute to the development of work methods, organizations and supervision.

Remuneration is closely tied to the use of contractors (in Finland owner of forest machine often works as machine driver). Minor overhead costs and an efficient input of a worker with self-initiative are regarded as advantages of employing contractors. Actually, the utilization of forest tractors and multi-purpose machines turned out to be greater in the case of machines operated by contractors than in the case of company-owned machinery (Laitinen 1978, Mäkelä 1979). Nevertheless, the ownership of multi-purpose machinery did not definitely explain the output (Mäkelä 1979). It is to be noted that statistics quoted above include elements distorting comparisons. On the other hand, contractors have found their work more fatiguing than operators, but the general job satisfaction among contractors was higher. They highly appreciated the independent nature of their job (Kyttälä 1978).

The programming of logging, the determination of daily working hours, and the introduction of rest pauses are temporal aspects of logging organization. In peace rate working, the last two have been freely determinable by the worker. The development of the programming of logging and the control over the realization of the programms have to some extent limited the free arrangement of daily working hours. Further, as a result of the mechanization of logging systems, operations in them have become dependent on the output of other operations. As the free nature of work has been experienced to be the most favourable feature of forest work,

certain delays ought to be retained, if possible, between different tasks of the logging system in order to maintain job satisfaction. On the other hand, the programming of logging and its frictionsless application have a considerable influence on the costs of logging. The programming of logging has been regarded as part of a control system and it aims at:

— Steady supply of timber.
— Minimization of costs.
— Correct amount of resources.
— Optimum stock of timber.
— Optimum timing of tasks (Peltonen 1978).

Programming may have a favourable effect on the worker's well-being, too. E.g., the »right» amount of resources may prevent the seasonal nature of work and unemployment.

In 1977, 78 % of forest tractors were operating one-shift, 5 % 1 ½-shifts, 17 % 2-shifts, and less than 1 % 3-shifts in Finland. With processors the percentages were 50, 20, 30, 0 respectively. Shift work was most common in Northern Finland (Klemola and Rumpunen 1977), so that light conditions do not seem to explain the small amount of shift work. Bradley and Patkai (1974) stated that two-shifts work gives rise to more social disadvantages than 1 ½-shifts work with partly overlapping shifts when operating with multi-purpose machinery. Although in the case of two-shifts work the psycho-physical working capacity of the operator seemed to be lowest at the beginning of the first shift, the working times per timber unit were, nevertheless, approximately the same in different arrangements of working time. True, in two-shifts work the consumption of working time was somewhat higher than elsewhere, but the differences were not significant. Examination of the effects of shift work on machine utilization on the basis of company statistics provided no adequate pattern (Staland 1975).

Shift work organization is to some extent linked to other organizations of work, such as remuneration, work groups and supervision. Foremen have reported that supervision becomes more dificult as a result of shift work (Kyttälä 1978). Economic circumstances serve as a common explanation for shift work. However, studies of the economic effects of shift work in forestry are by no means sufficient.

Supervision

Studies carried out in Sweden and Finland show relatively high job satisfaction among foremen. Especially the independent and developing nature of work as well as its meaningfulness were highly esteemed (Frykman 1978, Kyttälä 1978). Most foremen considered, however, the freedom of work to be decreasing (Kyttälä 1978). Medical examinations have revealed that 20—40 % of the foremen are suffering from symptoms of stress and many of them experience their

work as stressing and busy (Frykman 1978). A steady change in tasks to be administered has been regarded as the most unfavourable aspect of work (Kyttälä 1978).

The negative features of work quoted above are connected with work design and work organization, for instance, in the following manner: Technical development has quickly increased the demand for knowledge, and the level of training among foremen is lagging behind the requirements. The foreman's role in work organization has changed from supervisor to »co-operator». The tasks to be managed becoming more complicated the haste has grown and the time to be used for supervision has declined. Shift work and overtime work have caused social problems. A functional organization has emphasized the need for co-operation. Legislation has developed rapidly adding to foremen's responsibility (Frykman 1978). In Kyttälä's (1978) study foremen in general considered their tasks to have changed in an inexpedient direction.

Foremen were reluctant to have cutting men's job enlarged, because they feared them not to be skilled enough. Instead, they had a very favourable attitude towards work groups. They regarded themselves in the role of supervisors of the work group and intermediaries between their superiors and the work group (Kyttälä 1978).

No research has been done on the physiological strain on foremen, nor has the use of their working time been objectively clarified. Further, no comparative studies are available of the effects of logging organization upon foremen's tasks or strain caused by work. However, when applying organizational measures, the foreman's role is so essential that research in this field is badly needed. Several experiments have shown that organizational measures have failed, because it was not possible to change the foreman's role. Frykman (1978) suggests that, after his training, the foreman should increasingly be able:

— to assist the workers in their job;
— to plan and to co-ordinate long-term operations in the work groups;
— to contribute actively to individual developments of work group members and to personnel policy;
— to create belongingness and a good climate in the group.

According to Frykman the foreman's job satisfaction, on the other hand, can be improved by: training; increased time for planning; a widened planning horizon; increased participation in planning work routine, work methods, personnel policy etc.; by increased time and training for work environmental and co-operational subjects; increased training according to technical changes; retention of long-established privileges of, say, fishing and hunting; the development of systems, e.g. communicating by radio telephone in order to prevent overtime work and two-shifts work; a return to geographic work and responsibility distribution in some form or other; and active improvement of the organizational climate.

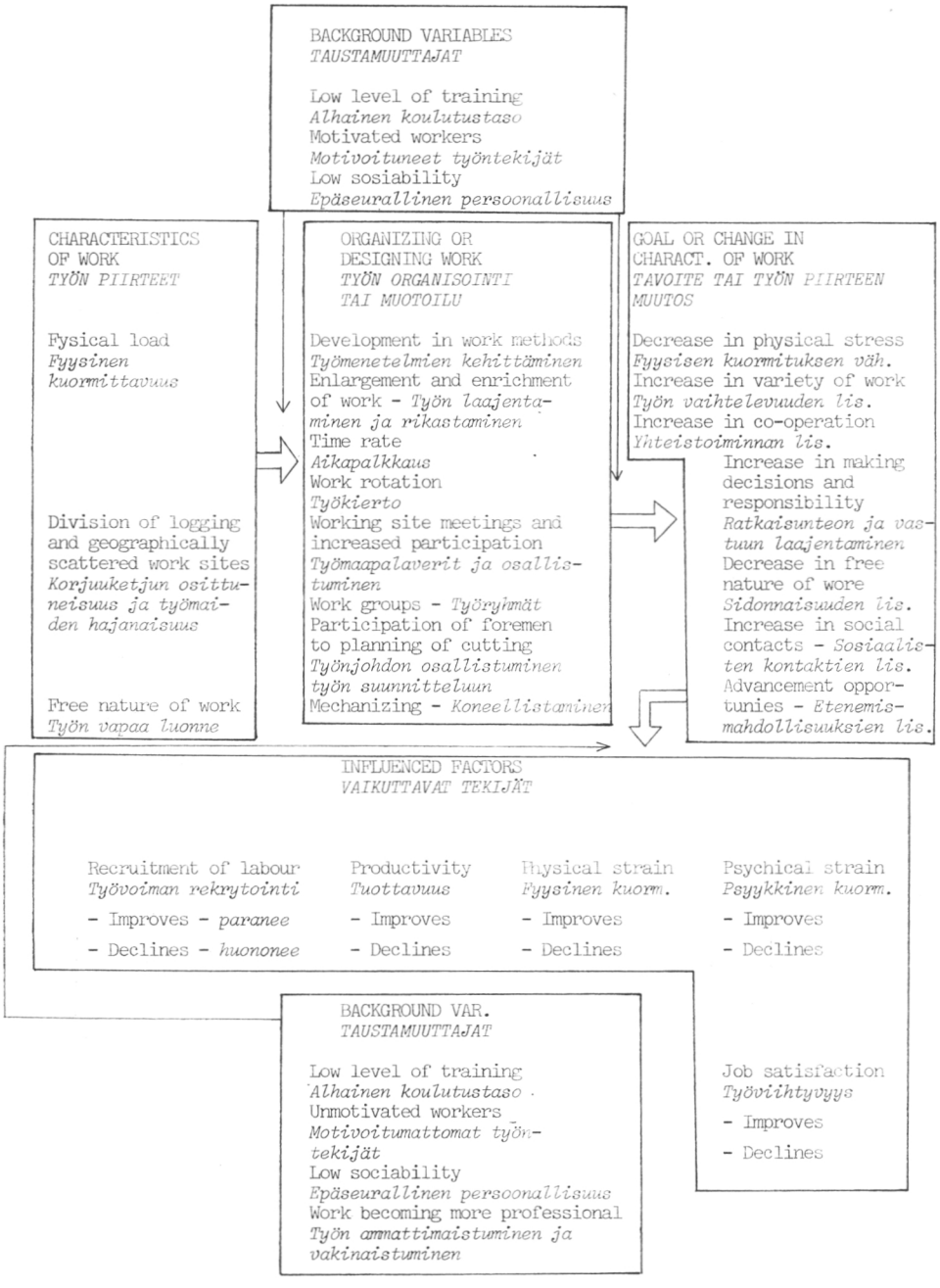


Fig. 2. Some relevant variables when organizing of cutting work.
Kuva 2. Puutavaran teon organisoinnissa merkityksellisiä muuttujia.

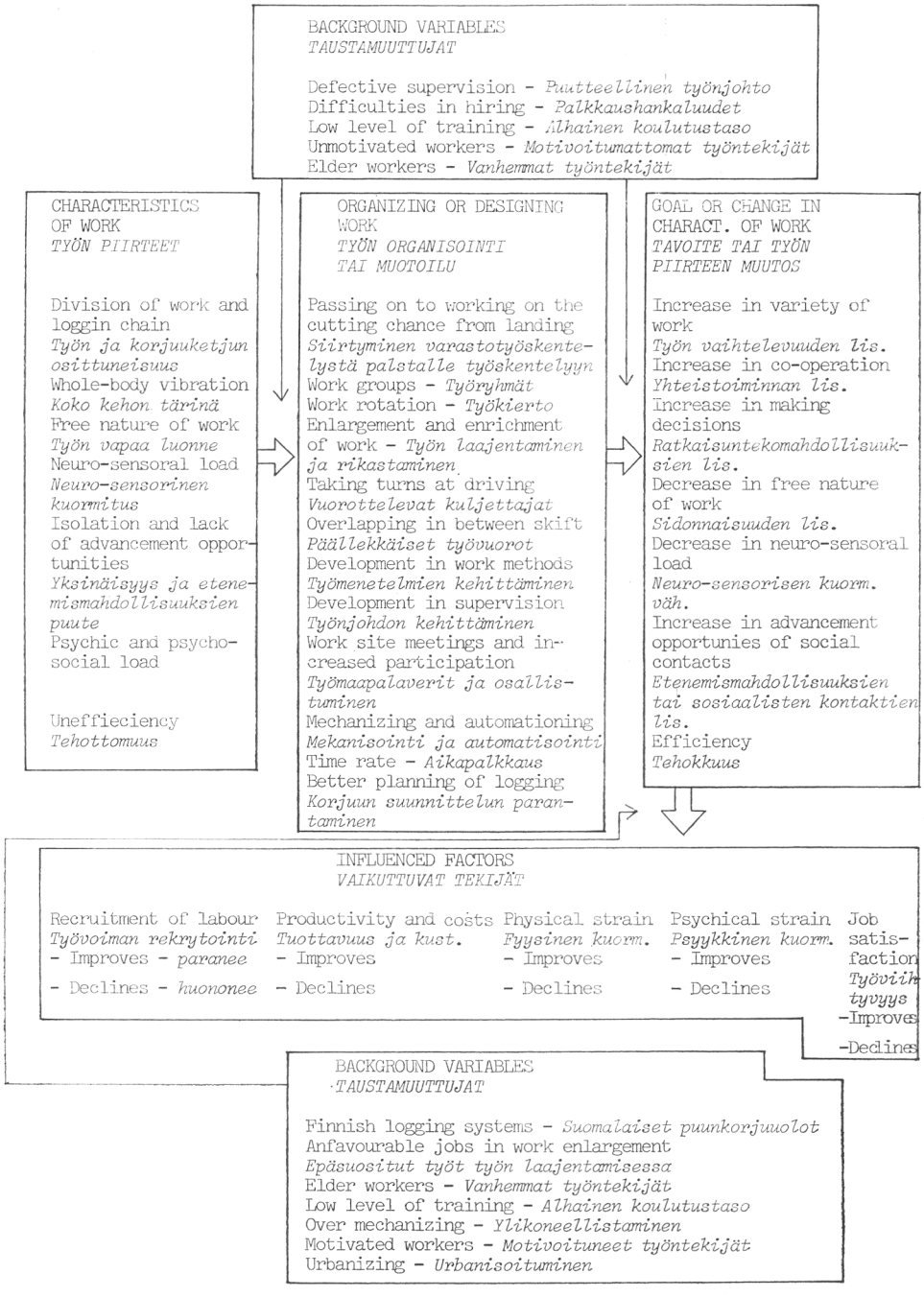


Fig. 3. Some relevant variables when organizing of forest machine work.
Kuva 3. Metsäkonetyön organisoinnissa merkityksellisiä muuttujia.

4. DISCUSSION

The conception discussed at the beginning of the study has mainly been outlined on the basis of the humanization of work, although work organization may aim at other goals as well, e.g. increasing productivity. Terms concerning work organization and work design are still somewhat overlapping.

When cutting on peace rate, the physical strain of work dominates the worker's behaviour to such a degree that it hampers productivity. In addition, the physical strain has an impact on most common occupational diseases and job satisfaction. The latter is clearly influenced by other factors, too. It is possible to influence strain of work, especially the one-sided strain of work, by organizing work — among other things through the creation of multi-faceted jobs and work rotation. A more accurate prediction of the effects requires knowledge of the worker's personality traits, motivation, level of training and social environment, as well as knowledge of the role which remuneration plays in this context. A more extensive employment of work groups, for example, apparently requires a change in cutting men's attitudes. In addition, work cannot be enlarged or enriched by tasks for which the workers are not sufficiently skilled. The lower remuneration of tasks alternative to cutting has obviously hindered arrangements for the creation of multi-faceted jobs and work rotation as well.

The time rate, too, would apparently reduce strain of work, but — contrary to facilitating work by means of job design — it leads to a decline in productivity. Taking it all in all, its effects are complicated, e.g. in the case of job satisfaction. The free nature of work is important as job satisfaction factor. To retain in various phases of the logging system have to be kept separated by time-intervals — except when using work groups. However, intervals cause a break-down of contacts between different occupational groups.

This becomes apparent, for instance, in the need to increase the role of supervision in planning, to arrange meetings at the working site, or to enhance co-operation in the planning of the whole logging process in some other way. It would be necessary to investigate, how participation of this kind influence productivity, quality and strain of work, job satisfaction and supervision. We also did not know much about opportunities for employing work groups. Further, studies should be carried out on the effects of these organizational measures on the satisfaction of social needs, on the distribution of responsibility and opportunities for decision-making, and on the career advancement.

Compared to cutting men, an equally clear determinant of work behaviour could not be discovered among forestry machine operators. A remarkable amount of physical, neuro-sensory and mental strain may occur in these jobs. Hence, the effects of work organization are complicated here as well. It was a natural development under Finnish conditions that a relatively great variance was achieved in logging, though monotony may still occur to some extent. On the other hand, the amount and the effects of neuro-sensory information load have not been objectively investigated as yet, but the fact that the learning of grabble loading is explained by spatial abilities points to the existence of neuro-sensory load (L e h t o n e n 1975).

Heat stress, whole-body vibration, noise and load caused by one-sided movements on the upper body are the most prominent physical loads. The strain of worker attributable to them is only to some extent acute and may, therefore, merely occasionally have an immediate influence on work behaviour (H a r s t e l a 1978). Mental strain is largely caused by economic responsibility.

All organizational measures with the aim of creating multi-faceted jobs and of distributing responsibility can basically have a reducing effect on all phenomena of strain and increase job satisfaction, but they can also give rise to strain, e.g. as a result of enhanced responsibility. The erroneous realization of organizational measures or an unfavourable circumstance, such as the workers' negative attitudes and lack of training, can bring about failure. In addition, no objective investigations into the effects of nearly all organizational measures on productivity and costs have been conducted. In studying attitudes it was thought that increased co-operation among different occupational groups would contribute to productivity. Insufficient co-operation in forest work may be attributable not only to the control systems lagging behind, but also to the geographic dispersion of work.

It has been assumed that most strain in a foreman's job is caused by the rush and the steady change in matters to be managed. The amount of the effects of this strain on output has not been studied. It is obvious that the manner in which organizational measures influence supervisors depends to a great deal on the mode of realization of just such measures, on the foremen's motivation and on their pedagogic abilities.

Remuneration, contract work, shift work, supervision and the temporal organization of logging have been treated somewhat sporadically in the present paper, but the realization of them can contribute to success in other organizational measures. Accordingly, in Chapter II work will be illustrated as an »interdependent system». Therefore, including issues of remuneration and control in the study of work organization will be essential for further investigations.

REFERENCES

AGER, B. 1978. Arbetsorganisation vid högmekaniserad skogsavverkning. En medel för utformning och analys av organisationen. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 1—2: 131—134.

AHO, K. & KÄTTÖ, J. 1971. Tutkimus metsätraktorin mittaus- ja arvostelumenetelmän kehittämiseksi. Summary: Experiment for developing a method how to measure and evaluate the rocking of the forest tractor. VAKOLA, tutkimusselostus 9: 1—41.

ALANIVA, T. 1978. Miten työnopastaja on voinut viedä työsuojelua eteenpäin, havaittuja epäkohtia ja toiminnan kehittämisnäkökohtia. Metsätöiden työturvallisuusneuvottelupäivä 8. 3. 1978. Moniste, 8 s.

AXELSSON, S.-Å. 1978. Skogsmaskinförares hälsorisker. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 1—2: 21—28.

BERELSON, B. & STEINER, G. A. 1964. Human behavior. An inventory of scientific findings. New York. Harcourt. Brace & World, Inc.

BLACKLER, F. H. M. & BROWN, C. A. 1975. The impending crisis in job redesign. J. Occup. Psychol. 48: 185—193.

BOSTRAND, L. 1978. Av maskinförarna upplevda besvär. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 1—2: 31—35.

BRADLEY, G. & PATKAI, P. 1974. Skiftarbete vid mekaniserad avverkning. Del 1. Sosialpsykologiska och psykofysiska aspekter. Summary: Shiftwork in mechanized logging. Part 1. Rapp. Uppsats, Instn. Skogstek. Skogshögsk. 66: 1—80.

EKELUND, G., THÖRLUND, M. & ÖSKOG, A. 1978. Analys av »nya» arbetsformer vid processoravverkningar. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 1—2: 134—139.

EMERY, F. E. & THORSRUD, E. 1969. Form and Contend in Industrial Democracy. London, Tavistock.

FRAZER, T. M. 1978. Job satisfaction and work humanisation. An expanding role of ergonomics. Ergonomics 21(1): 11—19.

FRISK, Å., HALL, B., NORDEN, B. & SONDELL, J. 1972. Method och organisationsstudier vid högmekaniserad avverkning. Skogsarbeten (Stencil).

FRYKMAN, B. 1978. Arbetsledarna — om deras arbetsförhållanden och rollförändring. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 1—2: 146—149.

GEIJER, S. & LISS, J.-E. 1978. Arbetsorganisation vid slutavverkning med skördare. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 1—2: 139—140.

GEORGOPOULOS, B. S., MAHONEY, G. M. & JONES, N. W. 1957. A path-goal approach to productivity. J. apll. Psychol. 41: 345—353.

HANSSON, J.-E. & WIKSTRÖM, B.-O. 1974. Vibrationsbelastning på skogsmaskinförare. Summary: Vibration stress on forest drivers. Rapp. Uppsats. Instn. Skogstek. Skogshögsk. 67: 1—28.

HARSTELA, P. 1975. Työajan menekkiin ja työntekijän kuormittumiseen vaikuttavat tekijät eräissä metsätyömenetelmissä. Teoreettinen ja empiirinen analyysi. Summary: Factors affecting the consumption of working time and the strain on the worker in some forest work methods. Commun. Inst. For. Fenn. 87(2): 1—130.

— 1977. Ergonomic and technic aspects of bunching round timber in thinnings. Seloste: Kasauksen ergonomia ja teknologia. Commun. Inst. For. Fenn. 89(4): 1—37.

— 1978. Metsätyön kuormittavuuden määrittelyä. Summary: On definition the amount of strain caused by forest work. Silva Fenn. 12(1): 25—32.

— & VALONEN, P. 1972. Työn tuotos, työntekijän fyysinen kuormittuminen ja tärinäaltistus pelkässä kaadossa. Summary: Work output physical load of the worker and exposure to vibration in felling. Folia For. 151: 1—43.

— JÄRVINEN, J., TERVO, L. & AHOLAINEN, R. 1977 Tutkimus eräistä harvennushakkuumenetelmistä. Summary: The study of some short wood methods of cutting in thinnings. Folia For. 310: 1—29.

HEIKINHEIMO, L., HEIKINHEIMO, M., LEHTINEN, M. & REUNALA, A. 1974. Level of living of forest workers in Finland. Tiivistelmä: Metsätyömiehen ansiotaso. Commun. Inst. For. Fenn. 81(1): 1—148.

HERBST, P. G. 1974. Socio-technical Design: Strategies in multidisciplinary research. London, Tavistock Publication Limited.

JOHANSSON, I. & LIDBERG, B. 1977. Huggning på snöpackad underlag. Ekon. Forskn Stift. Skogsarb. 11: 1—4.

JUKKOLA, S. & KOSKINEN, A. 1974. Prosessori ja harvesteriketjut. Summary: Processor and harvester system. Metsätehon tiedotus 329: 1—18.

JÄÄSKELÄINEN, O. 1978. Töiden uudelleen suunnittelu — tavoitteena tuottavuus ja hyvinvointi. Työ-terveys-turvallisuus 7: 17—19.

KAHALA, M. & RANTAPUU, K. 1970. Tutkimus puutavaran valmistustavan ja leimikkotekijöiden vaikutuksesta hakkuuseen ja metsäkuljetukseen. Summary: Study of the effect of the method of timber preparation and marked-stand factors on cutting and forwarding with a forwarder. Metsätehon tiedotus 292.

— & TAIPALE, J. 1978. Pitkän puutavaran korjuu kasvatusmetsissä. Summary: Harvesting of long timber in young and middle-aged forests. Metsätehon katsaus 4: 1—4.

KANNINEN, K. 1977. Palkkausmuodot ja niiden vaikutus metsätöissä. Summary: Forms of remuneration and their influence on forest work. Folia For. 315: 1—25.

KATZ, D. & KAHN, R. L. 1966. The social psychology of organizations. 498 s. Wiley & Sons. New York & London.

KLEIN, L. 1976. New forms of work organization. Chathan, W & J Mackey Limited. 106 s.

KLEMOLA, P. & RUMPUNEN, H. 1977. Metsäkoneiden käyttötilasto 1977. Metsätehon seloste 11: 1—17.

KYTTÄLÄ, T. 1978. Työn organisointimahdollisuudet puunkorjuussa. Summary: Aspects of work organizing in logging. Folia For. 361: 1—37.

LAHTELA, J. 1978. Työn muotoilu poistaa haittoja. Työ-terveys-turvallisuus 7: 24—25.

LAITINEN, J. 1978. Kuormatraktorin tekninen käyttöaste. Abstract: Mechanical availability of forwarders. Folia For. 372: 1—13.

LEHTONEN, E. 1975. Kourakuormauksen oppiminen. Summary: Learning of grapple loading. Folia For. 294: 1—23.

LIPPOLD, G. 1970. Die materiellen Arbeitsbedingungen der Werktätigen. Berlin, Verlag Tribüne.

MEŽALS, J. 1971. Tutkimus työskentelyolosuhteista metsätaloudessa, Latvian metsäntutkimuslaitoksen tiedottaja. Käännös.

MÄKELÄ, M. 1979. Tilasto- ja aikatutkimustuotosten vertailua ainespuun korjuussa. Summary: Output in harvesting of industrial wood based on statistical data or time studies. Folia For. 378: 1—22.

PELTONEN, J. 1978. Suunnittelu säästää puuhankinnassa. Teollisuuden metsäviesti 3: 9—10.

RAITASALO, R., TUUNAINEN, K. & BRUNILA, T. 1973. Metsätyömiesten mielipiteet työstä, terveydestä ja metsäalan kurssikoulutuksesta. Työterveyslaitoksen kuntoutusosaston tutkimuksia.

RANTALAIHO, L. 1977. Work organization and its impact on the worker's life in work. Dep. of sociol. and social psychol. Univ. of Tampere. Res. rep. 22: 1—99.

ROHMERT, W., LUCZAK, H. & LANDAU, K. 1975. Arbeitswissenschaftlicher. Erhebungsbogen zur Tätigkeitsanalyse — AET. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 4: 199—207.

SARIC, J. 1978. The development of production systems. Some theoretical and behavioural aspects of industrial engineering. Ergonomics 21(11): 931—938.

SAVOLAINEN, R. 1974. Puunhankintamenetelmät ja korjuutekniset olosuhteet hankintavuonna 1973/74. Summary: Methods and technical conditions of harvesting in the logging year 1973/74. Metsätehon katsaus 23: 1—4.

SEPPÄLÄ, P., LAUNIS, M., NIEMINEN, K. & RUOTSALAINEN, K. 1977. Sahatavaran laatulajittelijan työpaikan ja työn ergonominen tutkimus. Työterveyslaitos, tutkimusraportti.

Skoglig arbetsstudienomenklatur i Danmark, Finland, Norge och Sverige. 1963. Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd, Medd. 1: 1—56.

STALAND, P. 1975. Skiftarbete vid mekaniserad avverkning. Del 2. Driftsekonomiska aspekter. Summary: Shiftwork in mechanized logging. Part 2. Rapp. Uppsats. Instn. Skogstek. Skogshögsk. 91: 1—66.

TEIKARI, E. 1978. Puolet metsätyöntekijöistä viihtyy työssään. Summary: Job satisfaction among forest work. Teho 9: 24—26.

THORSRUD, E. & EMERY, F. E. 1971. Osallistuminen ja vaikuttaminen työelämässä. Tapiola. Oy Weilin + Göös Ab.

TIETZE, G. 1971. Sozialistische Prinzipien des Gesundheits- und Arbeitsschutzes. Berlin. Verlag Tribüne.

Työolojen tutkimuksen teoreettisia lähtökohtia. Teoreettista työsuojelututkimusta suunnitelleen työryhmän mietintö. 1976. 115 s. Helsinki. Suomen Akatemia, Tieteen keskustoimikunta, Työsuojelututkimuksen jaosto. Moniste.

VALONEN, P. 1975. Tekomiehen fyysinen kuormitus kehittyneissä työvaltaisissa tekomenetelmissä. Summary: The physical strain on the logger in advanced labour intensive pulpwood preparation methods. Folia For. 243: 1—31.

VEHVILÄINEN, H. 1972. Palkkaus ja työolot metsäkonetöissä syksyllä 1971. Summary: The working conditions and earnings of forest-machine operators in autumn 1971 in Finland. Folia For. 153: 1—83.

WILD, R. & BIRCHALL, D. W. 1975. Job structuring and work organization. J. Occup. Psychol. 48: 169—177.

SELOSTE

Tutkimuksessa laadittiin työtieteellinen viitekehys puunkorjuun organisointitutkimuksille lähtien alan yleisistä teorioista. Tarkasteltu käsitteistö on muotoutunut pääasiassa työn humanisoinnin lähtökohdista, vaikka työn organisoinnilla voidaan yhtä hyvin pyrkiä muihin päämääriin, esim. työn tuottavuuden lisäämiseen. Työn organisoinnin ja työn muotoilun käsitteet ovat jääneet jossain määrin päällekkäisiksi.

Viimeisissä työn organisaatioteorioissa työntekijä on katsottu tuotantojärjestelmän ytimeksi. Tuotantojärjestelmän kehitystä on verrattu biologisen organismin kehitykseen, jossa itsesäätelyllä on tärkeä merkitys. Työn organisointi työmaatasolla vaikuttaa huomattavasti tuotantojärjestelmän ytimen itsesäätelymahdollisuuksiin. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa päähuomio kiinnitettiin ihmisten välisiin suhteisiin sekä työntekijän asemaan ja mahdollisuuksiin tyydyttää tarpeitaan.

Hakkuussa urakkapalkalla työn fyysinen kuormittavuus hallitsee työntekijän työkäyttäytymistä siten, että se rajoittaa työn tuottavuutta. Lisäksi fyysinen kuormittuminen vaikuttaa yleisimpiin ammattitauteihin ja työtyytyväisyyteen. Viimeksi mainittuun vaikuttavat selvästi muutkin tekijät. Työn kuormittavuuteen ja erityisesti yksipuoliseen kuormitukseen voidaan työn organisoinnilla — mm. työtä monipuolistamalla vaikuttaa. Vaikutuksen tarkempi ennustaminen edellyttää työntekijöiden persoonallisuuden piirteiden, motivaation, koulutustason ja sosiaalisen ympäristön sekä palkkauksen vaikutusten tuntemista. Esimerkiksi ryhmätyön laajemman toteuttamisen edellytyksenä ilmeisesti olisi hakkuumiesten asenteiden muuttuminen. Työtä ei myöskään voida menestyksellisesti laajentaa tai rikastaa töillä, joihin työntekijöillä ei ole riittävää koulutusta. Työn monipuolistamisen ja työkierron esteenä on jossain määrin ollut huonompi palkkaus hakkuuta korvaavissa töissä.

Ilmeisesti aikapalkkaus myös vähentäisi työn kuormittavuutta, mutta — toisin kuin työn keventäminen työn muotoilun avulla — se johtaa työn tuottavuuden vähenemiseen. Kaiken kaikkiaan palkkaustavan vaikutukset ovat monimutkaiset (mm. työviihtyvyyteen, työn laatuun, poissaoloihin). Työviihtyvyystekijänä työn vapaa luonne on tärkeä. Sen säilyttämiseksi korjuuketjun eri työvaiheet on tarpeen pitää erillään tietyllä viiveellä — poikkeuksena on mahdollinen työryhmien käyttö. Toisaalta viiveet katkaisevat eri ammattimiesryhmien kontaktit. Tämä heijastuu mm. tarpeena lisätä työnjohdon osuutta työn suunnittelussa, järjestää työmaapalavereja tai muuten lisätä yhteistoimintaa koko korjuuprosessin suunnittelussa. Tällaisen osallistumisen vaikutuksista työn tuottavuuteen, laatuun, työn kuormittavuuteen, työviihtyvyyteen ja työnjohtoon tarvittaisiin tutkimuksia samoin kuin työryhmien käyttömahdollisuuksistakin. Näiden organisointitoimien vaikutukset sosiaalisten tarpeiden tyydyttämiseen, vastuun ja ratkaisuntekomahdollisuuksien jakaantumiseen ja ammattiuralla etenemiseen ovat myös avoimia.

Metsäkoneen kuljetuksessa ei ole voitu osoittaa yhtä selvästi työkäyttäytymistä hallitsevaa tekijää kuin hakkuussa. Työssä esiintynee merkittävästi sekä fyysistä, neuro-sensorista että henkistä kuormitusta. Näin työn organisoinninkin vaikutukset ovat monimutkaiset. Suomalainen puunkorjuu on luonnostaan kehittynyt verraten vaihtelevaksi. Jossain määrin kuitenkin esiintynee monotoniaa. Toisaalta neuro-sensorisen informaatiokuorman suuruutta ja vaikutuksia ei ole vielä objektiivisesti tutkittu, mutta spatiaalisten kykyjen hyvä selittävyys kourakuormauksen oppimisessa viittaa neuro-sensorisen kuormituksen olemassaoloon.

Fyysisistä kuormituksista erottuvat lämpökuormitus, koko kehon tärinä, melu ja yksipuolisten työliikkeiden kuormitus kehon yläosiin. Näiden seurauksena syntyvä kuormittuminen on vain osittain akuuttia ja vaikuttanee näin vain osittain välittömästi työkäyttäytymiseen. Henkinen kuormitus on suurelta osin taloudellisen vastuun aiheuttamaa. Kaikki työn monipuolistamiseen ja vastuun jakamiseen liittyvät organisointitoimet voivat periaatteessa vähentää kaikkia kuormittumisilmiöitä ja lisätä työviihtyvyyttä. Mutta ne voivat myös lisätä kuormittumista esim. lisääntyneen vastuun ja liian monimutkaisten töiden seurauksena. Väärä toteutus tai epäedulliset taustatekijät kuten työntekijöiden negatiiviset asenteet ja koulutuksen puute voivat aiheuttaa epäonnistumisia. Lisäksi puuttuvat objektiiviset tutkimukset lähes kaikkien organisointitoimien vaikutuksista työn tuottavuuteen ja kustannuksiin. Mielipidetutkimuksissa on uskottu yhteistoiminnan lisäämisen eri ammattiryhmien välillä parantavan työn tuottavuutta. Yhteistoiminnan riittämättömyys metsätyössä lienee paitsi ohjausjärjestelmien jälkeenjääneisyyden myös työn maantieteellisen hajautumisen seurausta.

Työnjohtajien työssä kiireen ja hallittavien asioiden jatkuvan muuttumisen on oletettu aiheuttavan eniten kuormittuneisuutta. Siitä missä määrin tämä kuormitus vaikuttaa työsuoritukseen ei ole tutkimuksia. On ilmeistä, että se miten organisointitoimet vaikuttavat työnjohtajiin riippuu paljon toimien toteuttamistavasta, työnjohtajien motivaatiosta ja koulutuksellisista valmiuksista.

Palkkausta, urakointia, vuorotyötä, työnjohtoa ja korjuun ajallista organisointia on tässä tutkimuksessa käsitelty jossain määrin irrallisina, mutta niiden toteutus voi vaikuttaa muiden organisointitoimien onnistumiseen. Työ onkin tutkimuksen toisessa luvussa kuvattu systeemiksi, jossa »kaikki vaikuttaa kaikkeen». Työn palkkio- ja ohjausjärjestelmän tutkiminen työn organisointitutkimuksissa on keskeinen tehtävä jatkotutkimuksissa.

ERÄIDEN ULKOMAISTEN JA KOTIMAISTEN PUULAJIEN PUU- JA MASSATEKNISIÄ OMINAISUUKSIA

OLLI UUSVAARA ja OSMO PEKKALA

Summary

TECHNICAL PROPERTIES OF THE WOOD AND PULP OF CERTAIN FOREIGN AND UNCOMMON NATIVE TREE SPECIES

HELSINKI 1979

ODC 812
ISBN 951-40-0415-9
ISSN 0026-1610

UUSVAARA, O. & PEKKALA, O. 1979. Eräiden ulkomaisten ja kotimaisten puulajien puu- ja massateknisiä ominaisuuksia. Summary: Technical properties of the wood and pulp of certain foreign and uncommon native tree species. Commun.Inst. For. Fenn. 96(2):1—59.

Tutkimuksessa tarkastellaan seuraavien Suomessa viljeltyjen ulkomaisten sekä kotimaisten puulajien puuteknisiä ominaisuuksia sekä sulfaattimassan saantoa ja lujuusominaisuuksia: sitkankuusi, ajaninkuusi, valkokuusi, omorikakuusi, engelmanninkuusi, mustakuusi, koreankuusi, sahalininjalokuusi, momijalokuusi, pihtakuusi, douglaskuusi, sembramänty, peukemänty, kanadantuija, kataja, amerikanhieskoivu, tammi, saarni, lehmus, vaahtera, pihlaja, tuomi, halava, pähkinäpensas ja haapa.

Useimmilla havupuulajeilla rungon kosteussuhde nousi verraten tasaisesti puun tyveltä latvaa kohti kun taas lehtipuilla kosteussuhteen muutokset rungon pituussuunnassa olivat havupuita vähäisempiä. Rungon keskimääräiset kosteussuhteet vaihtelivat havupuulajeilla 45—144 prosenttiyksikköön ja lehtipuulajeilla 42—104 prosenttiyksikköön. Kuoren painoprosentti laski kaikilla havupuulajeilla ensin tyven läheisyydessä ja nousi sen jälkeen nopeasti kohti latvaa, kun taas lehtipuilla rungon kuoren suhteellinen osuus nousi useimmilla puulajeilla tasaisesti kannolta latvaan päin. Runkojen keskimääräinen kuoren massaosuus vaihteli havu- ja lehtipuilla 9,5—16,3 ja 10,6—24,1 prosenttiyksikköön. Kaikilla tutkituilla havupuilla ja useimmilla kotimaisilla lehtipuillakin todettiin sydänpuuta, jonka osuus vaihteli havupuilla 26,7—70,6 ja lehtipuilla 10,3—60,5 prosenttiyksikköön. Useimmilla havu- ja lehtipuulajeilla puuaineen kuiva-tuoretiheys nousi tyveltä rungon pituussuunnassa, mutta joillakin lajeilla se päin vastoin laski kohti latvaa. Eri havu- ja lehtipuulajien puuaineen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet vaihtelivat 328—508 ja 389—607 kg/m³.

Lähes kaikki tutkitut havupuulajit olivat massateknisiltä ominaisuuksiltaan kuusen ja männyn veroisia, kun taas useimmat lehtipuulajit olivat kotimaista koivua heikompia.

Technical properties of the wood and the yield and srength of sulphate pulps of following foreign and native tree species were examined in the study: *Picea sitchensis*, *Picea jezoensis*, *Picea glauca*, *Picea omorika*, *Picea engelmannii*, *Picea mariana*, *Picea koyamai*, *Abies sachalinensis*, *Abies holophylla*, *Abies sibirica*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus cembra*, *Pinus peuce*, *Thuja occidentalis*, *Juniperus communis*, *Betula papyrifera*, *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Tilia cordata*, *Acer platanoides*, *Sorbus aucuparia*, *Prunus padus*, *Salix pentandra*, *Corylus avellana* and *Populus tremula*.

The stem moisture content of most of the softwood species increased relatively evenly from the butt of the stem up to the crown, while that of the hardwoods remained constant throughout the length of the stem or its changes were smaller. The average stem moisture contents varied from 45 to 144 per cent units for softwoods and from 42 to 104 per cent units for hardwoods. The bark percentage by weight first decreased in all the softwood species in the vicinity of the butt and then increased again fast towards the top, whereas in the hardwoods the relative bark content increased evenly from stump to top in most of the species. The average bark percentage by weight of the stems ranged from 9,5 to 16,3 and from 10,6 to 24,1 per cent units for softwoods and hardwoods. Heartwood was encountered in all the softwoods and in most of the native hardwood species. The share of heartwood was 26,7—70,6 per cent units for softwoods and 10,3—60,5 per cent units for hardwoods. The basic density of wood in most of the softwoods and hardwoods rose from the butt upwards, but in some species it declined towards the top of the stem. The average basic densities of the softwoods and hardwoods were 328—508 and 389—607 kg/m³.

Nearly all the softwood species studied were equal to the spruce and pine in their pulp-technical properties, whereas most of the hardwoods were inferior to the native birch.

Helsinki 1979. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 4
2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO 7
21. Tutkimusmenetelmä 7
22. Tutkimusaineisto 8
3. TULOKSET 11
31. Puulajien alkuperä, puuaineen ominaisuudet ja käyttö 11
32. Puutekniset ominaisuudet 31
Luston leveys ja kesäpuuprosentti 31
Kosteussuhde 32
Kuoripitoisuus 34
Oksaprosentti 36
Sydänpuuprosentti 39
Kuiva-tuoretiheys 42
33. Puuaineen massatekniset ominaisuudet 46
4. TULOSTEN TARKASTELU 48
5. YHDISTELMÄ 55
KIRJALLISUUSLUETTELO 56
SUMMARY 59

1. JOHDANTO

Suomen metsät ovat puulajien lukumäärään nähden varsin köyhiä. Varsinaista metsätaloudellista merkitystä omaavia lajeja on vain neljä. Sekä yksityisten henkilöiden harrastuksen että tieteellisten ja metsätaloudellisten päämäärien vuoksi on maassamme kuitenkin kokeiltu myös monien ulkomaisten puulajien viljelyä viime vuosisadan loppupuolelta lähtien, joskin ensimmäiset käytännön kokeet perustettiin jo 1700-luvun puolivälissä. Varsinaisen perustan alan kokeilutoiminnalle laskivat Elimäen Mustilan tilan kasvatuskokeitten tulokset (Tigerstedt 1922) sekä Cajanderin (1917) viitoittamat perusteet alkuperän ja olosuhteiden vaikutuksesta viljelyn onnistumiseen. Näin alkaneen kokeilutyön jatkona mainittakoon edelleen mm. Ilvessalon (1920) ja Heikinheimon (1956) viljelykokeiden tuloksia käsittelevät tutkimukset. Edellä mainittujen lisäksi ulkomaisia puulajeja tai kotimaisia jaloja lehtipuita on ajoittain innokkaastikin viljelty joko yksittäisinä puina tai laajempina viljelminä mm. metsähallituksen ja kartanoiden metsissä sekä kaupunkien puistoissa ja rautatieasemilla.

Eri kasvilajit ovat sopeutuneet fysiologisesti tiettyihin kasvuoloihin, ja muodostavat siten usein varsin tarkastikin rajattavia levinneisyysalueita. Puulajeja voidaan kuitenkin siirtää luontaisen levinneisyysalueensa ulkopuolelle mikäli uudessa kasvupaikassa ilmaston lämpö- ja sadeolot sekä valaistuksen vuodenajoittainen ja vuorokausittainen rytmi muistuttavat alkuperäisiä. Erityisen tärkeäksi on havaittu siirrettävän puulajin alkuperä (Cajander 1917).

Tieteellisen mielenkiinnon ja koristetarkoitusten ohella puulajien siirtokokeiluja on motivoitu mm. sillä, että ulkomainen puulaji mahdollisesti tuottaa suuremman määrän arvokasta puuta kuin paikalliset lajit samoilla kasvupaikoilla. Vieraalla puulajilla saattaa olla myös jonkin käyttötarkoituksen kannalta poikkeuksellisen edullisia teknisiä ominaisuuksia, tai se saattaa tarjota arvokkaitten sivutuotteitten tai massateknisten ominaisuuksien johdosta uusia jalostusmahdollisuuksia. Etuina voidaan pitää mm. vähäoksaisuutta, tuhonkestävyyttä tai vaatimattomuutta kasvualustaan nähden.

Metsäntutkimuslaitoksessa on suoritettu kymmenien vuosien ajan laajaa kokeilutoimintaa monien ulkomaisten puulajien menestymisen ja tuotoksen selvittämiseksi. Useimmat puulajit eivät tule kotimaisten rinnalla kysymykseen ainakaan teollisuuden raaka-aineena jo huonon ilmaston- ja taudinkestävyytensä vuoksi. Kuitenkin on löydetty lajeja, jotka menestyvät ilmastossamme ja jotka tuotokseltaankin kohoavat

ainakin lähelle kotimaisia puulajeja. Kasvatus- ja puuteknisin tutkimuksin on voitu havaita ainakin lehtikuusi (*Larix sibirica* Ledeb.) ja kontortamänty (*Pinus contorta* Loud.) ominaisuuksiltaan merkittäviksi metsätaloudessa (Vuokila 1960 ja 1971, Hakkila ja Panhelainen 1970, Salin ja Palenius 1970, Saukkonen 1971, Weissenberg 1972, Hakkila ja Winter 1973).

On luonnollista, että tutkimustyön resurssit ja voimavarat on suunnattu sinne, missä niitä on ensisijaisesti tarvittu ja mistä suurin taloudellinen hyöty on ollut saavutettavissa. Tavallisimpia puulajejamme on tutkittu monipuolisesti sekä puuettä massatekniseltä kannalta, kun taas useimmat meillä viljellyt ulkomaiset puulajit ovat tässä suhteessa jääneet vaille huomiota. Sama koskee myös vähälukuisia tai harvinaisia kotimaisia puulajeja. Mainittakoon kuitenkin poikkeuksina esim. harmaaleppää (*Alnus incana* (L.) Moench) (Hakkila 1970), tervaleppää (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) ja raitaa (*Salix caprea* L.) (Lehtonen ym. 1978), harmaaleppää (*Alnus incana*), pajua (*Salix caprea*), haapaa (*Populus tremula*) ja hybridihaapaa (*Populus tremula* × *P. tremuloides*) (Lönnberg 1976) sekä haapaa (*Populus tremula*) (Kärkkäinen 1979) koskevat tutkimukset.

Myös muissa Skandinavian maissa käytäntö ulkomaisten puulajien kasvatus- ja kokeilutoiminnassa on ollut samankaltaista kuin meillä; viljelyä kohtaan tunnettu mielenkiinto on ollut välillä voimakkaampaa ja välillä laimeampaa. Myös puun ominaisuuksia ja teollista käyttöä koskevat tutkimukset ovat jääneet hajanaisiksi (Karlberg 1961, Kiellander 1963, 1966, Eskilsson ym. 1969, Gislerud 1971).

Metsätalouden kehittymisen ja tutkimustyön laajentumisen myötä on pääpuulajien ohella tarpeen kiinnittää huomiota myös muihin puulajeihin mahdollisten uusien puu- tai massateknisten ominaisuuksien tai uusien käyttömuotojen löytämiseksi esimerkiksi joihinkin erikoistarkoituksiin.

Käsillä olevassa työssä tarkastellaan eräitten aikaisemmin tutkimuksen ulkopuolelle jääneitten ulkomaisten ja harvinaisten kotimaisten puulajien puu- ja massateknisiä ominaisuuksia. Kriteerinä ulkomaisia puulajeja valittaessa oli, että laji oli kasvatuskokeissa menestynyt maamme olosuhteissa hyvin ja kasvoi metsikköinä, jolloin koepuiden kaato oli mahdollista. Eräät hyvin menestyneet mutta pienialaisissa ja äskettäin harvennetuissa metsiköissä kasvaneet lajit oli pakko jättää pois. Kotimaisista puulajeista mukaan otettiin puut tai puumaiset lajit, jotka muodostivat metsiköitä tai ainakin melko yhtenäisiä kasvustoja muiden puulajien joukossa. Eräät yksittäisinä, harvinaisina esiintyvät ja puutarhoissa kasvatetut lajit jäivät tutkimuksen ulkopuolelle.

Koska jotakin ulkomaista puulajia saattoi olla vain yksi metsikkö maassamme ja yksittäisen puulajin runkomäärä muutenkin jäi pieneksi, ei tuloksia voida pitää puulajeittaisina keskiarvoina. Ne edustavat vain yksittäistapauksia, mutta antavat sellaisenaankin kuvan kunkin ominaisuuden yleistasosta kotimaisiin puulajeihin verrattuna.

Tulosten alkuosan puulajeittaiset yleistiedot, käyttö ja puun ominaisuudet perustuvat pääasiassa seuraaviin julkaisuihin: Heikinheimo (1956), Ruotsinkylän, Punkaharjun ja Solbölen retkeilykohteiden selostukset (1956, 1958 ja 1958), Begemann (1963—1969), Kujala (1964), Sarvas (1964), Tigerstedt (1970) sekä Salmi (1972, 1977 ja 1978).

Käsillä olevan työn tarkoituksena on tutkia eräiden Suomessa viljelykokeissa hyvin menestyneiden ulkomaisten ja eräiden kotimaisten, pääpuulajeihin verrattuna vähäarvoisempien puulajien puu- ja massateknisiä ominaisuuksia. Massan osalta rajoitutaan tässä yhteydessä ainoastaan sellun saannon ja lujuusominaisuuksien tarkasteluun, kun taas muut puuanalyysejä ja massan teknistä laatua koskevat tulokset julkaistaan myöhemmin toisessa yhteydessä.

Tutkimus tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosastolla yhteistyössä Oy Keskuslaboratorion kanssa, jossa suoritettiin selluja koskevat työt. Tutkimuksen suunnitteli sekä kirjoitti käsikirjoituksen puutekniseltä osalta Olli Uusvaara. Osmo Pekkala johti massan keittokokeet Oy Keskuslaboratoriossa sekä laati käsikirjoituksen niitä koskevalta osalta. Kenttätöitä johtivat metsäteknikot Pertti Laakso ja Tauno Oittinen. Käsikirjoituksen tarkastivat prof. Pentti Hakkila ja vt. prof. Matti Kärkkäinen. Kirjoittajat lausuvat kaikille tutkimuksen eri vaiheissa auttaneille parhaat kiitoksensa.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

21. Tutkimusmenetelmä

Lähes koko ulkomaisten puulajien aineisto sekä suurin osa kotimaisten lajien aineistosta kerättiin Metsäntutkimuslaitoksen omista metsistä, lähinnä Punkaharjun, Ruotsinkylän ja Solbölen kokeilualueista Punkaharjulta, Tuusulasta ja Bromarvista. Eräitä lajeja voitiin täydentää myös Kymi Kymmenen sekä eräiden yksityisten omistamista metsistä.

Koska useiden puulajien kokeet ovat harvinaisia ja pienialaisia, oli materiaalin keruussa otettava erityisesti huomioon metsänhoidolliset ja maisema- ja ympäristönäkökohdat. Tästä syystä koepuiden lukumäärä metsikköä kohti rajoitettiin useimmiten vain kymmeneen runkoon. Koepuut pyrittiin ottamaan oikeassa suhteessa eri latvuskerrosten esiintymiseen. Metsänhoidollisen harvennuksen periaatteiden voimakkaan painottumisen johdosta saattoi eräissä metsiköissä tulla aineiston joukkoon vallittujen latvuskerrosten puita enemmän kuin niiden runkoluku metsikössä edellytti. Sairaita ja vioittuneita runkoja ei kuitenkaan hyväksytty.

Metsiköstä selvitettiin pohjapinta-ala, metsätyyppi, ikä, ynnä muita yleistietoja. Kaadetuista rungoista mitattiin pituus, rinnankorkeusläpimitta, kapeneminen sekä rungon oksaisuutta kuvaavia tunnuksia, kuten elävien oksien ja latvuksen alaraja.

Rungoista sahattiin yhden metrin välein 4—5 cm paksu kiekko kannonkorkeudelta aloittaen latvassa noin 3 cm läpimittaan asti. Latvaa kohti kiekkojen paksuutta kuitenkin lisättiin. Kiekkoihin mahdollisesti joutuneet oksat katkaistiin pinnanmyötäisesti. Kiekkoihin merkittiin niissä mahdollisesti erottuva sydänpuuraja. Kiekot kuorittiin ja kunkin kiekon kuori otettiin talteen. Havupuista otettiin myös rinnantasalta lähelle ydintä ulottuva kairanlastu.

Havupuista sahattiin kustakin puulajista joidenkin runkojen kaikista näytteenottokohdista pussiin kuoretonta purua moottorisahalla, jonka öljysäiliö oli tyhjennetty sekä teräketju ja laippa puhdistettu rasvasta. Näin saatu puhdas puru sekoitettiin, minkä jälkeen siitä erotettiin 100 gramman erä uuteainemäärityksiä varten.

Laboratoriossa kiekoista mitattiin toisesta katkaisupinnasta planimetrilla oksien osuus pinta-alasta sekä sydänpuun osuus. Myös kiekkojen kyljissä mahdollisesti esiintyvät oksat tai laho havainnoitiin. Kuoren osuus määritettiin painoprosentteina absoluuttisen kuivan puun ja kuoren yhteismäärästä. Kiekkojen kuiva-tuoretiheys laskettiin absoluuttisen kuivan massan ja upotusmenetelmällä määritetyn tuoretilavuuden perusteella. Luston leveys ja kesäpuuprosentti mitattiin lustomittarilla rinnankorkeuslastujen 20 uloimmasta lustosta.

Kunkin koealan kolmesta arpomalla valitusta rungosta otettiin 1/4 korkeudelta noin 40 cm pituinen pölkky sulfaattimassan keittokokeita varten. Runkojen koon pienetessä pölkkyjen lukumäärää lisättiin tarpeen mukaan, sillä tavoitteena oli koealaa kohti vähintään noin 3 kg ilmakuivaa puuta.

Kuoritut pölkyt haketettiin Keskuslaboratoriossa laboratoriohakulla. Homogenoiduista hakenäytteistä suoritettiin eri puulajien ominaisuuksien analysointi. Tässä yhteydessä esitetään tulokset eri puulajien ligniinipitoisuudesta (KCL 156:76) sekä kuidun pituudesta. Täydelliset analyysitulokset

tullaan julkaisemaan myöhemmin. Sulfaattikeitot suoritettiin vastuslämmitteisissä 15 l:n pyörivissä autoklaaveissa seuraavissa oloissa:

Hakeannos	2 200 g a.k. puuta
Vaikuttava alkaliannos	14—20 % Na_2O puusta
Sulfiditeetti	30 %
Neste-puu suhde	3,5 : 1
Keittolämpötila	170 °C (havupuut)
	160 °C (lehtipuut)
Keittoaika	1,5 h
Lämpötilan nosto	
20°— 80 °C	0,5 h
80°—170 °C	2,0 h (havupuut)
80°—160 °C	3,0 h (lehtipuut)

Keiton jälkeen massa pestiin, lajiteltiin ja homogenoitiin. Paperitekniset ominaisuudet määritettiin massan Valley-jauhatuksen jälkeen. Analyysituloksista esitetään tässä yhteydessä massan saanto ja kappaluku sekä paperiteknisistä ominaisuuksista lujuustulo, B_1T (vetoindeksi × repäisyindeksi).

22. Tutkimusaineisto

Aineistoon kuuluneet puulajit sekä niiden runkoluvut on esitetty taulukossa 1 sekä koealojen maantieteellinen sijainti kuvassa 1. Aineisto käsitti 15 ulkomaista ja 10 kotimaista puulajia metsiköiden ja koepuiksi otettujen runkojen lukumäärän ollessa 52 ja 535 kpl.

Tässä työssä ei enää kosketella maassamme jo kauan viljeltyjä ja toisissa yhteyksissä tutkittuja lehtikuusta ja kontortamäntyä sekä eräitä harvinaisia lehtipuulajeja (sivut 48—49). Tässä käsiteltyjen lajien lisäksi eräät muutkin ulkomaiset puulajit viihtyvät meillä, mutta niiden tutkimiseen ei ollut mahdollisuuksia. Kanadasta peräisin oleva palsamikuusi (*Abies balsamea* (L.) Mill.) on menestynyt oloissamme, mutta se on arka sienituhoille eikä näin ollen käy varsinaiseksi metsäpuuksi. Veitchinjalokuusi (*Abies veitchii* Lindl.) saattaa edullisissa olosuhteissa menestyä, mutta on varsin arka pakkastuhoille (S a r v a s 1964). Eräät poppelilajit (*Populus* spp.) tulevat toimeen Suomen oloissa ja ovat nopeakasvuisia.

Tutkimus sisältää kotimaisten puulajien osalta pääasiassa ns. vähäarvoisia sivupuulajeja. Poikkeuksen muodostaa tutkimusaineistoon kuuluva haapa, joka yleisyydestään huolimatta on puun laadun suhteen varsin vähän tutkittu laji. Kotimaisista tutkimuksen ulkopuolelle jääneistä, mutta harvinaisista lajeista mainittakoon pääasiassa Lounais- ja Keski-Suomessa tavattava vuorijalava (*Ulmus glabra* Huds.) sekä Keski- ja Itä-Suomessa esiintyvä kynäjalava (*Ulmus laevis* Pall.) (K u j a l a 1964).

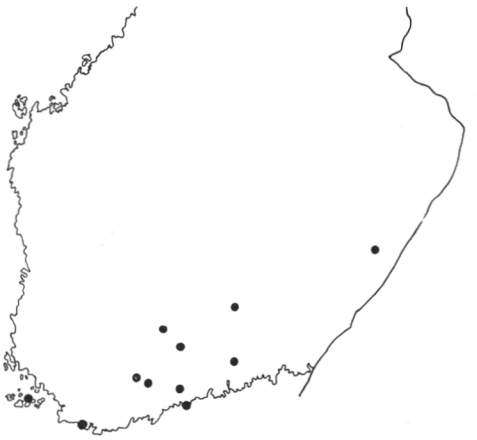
Tutkittujen puulajien ja runkojen mittaustulokset sekä koealoja koskevat tiedot on esitetty taulukossa 2.

Ulkomaiset puulajit olivat kaikki yhden puulajin vallitsemilta viljelmiltä, ts. monokulttuureilta, joita oli alusta pitäen hoidettu ja käsitelty metsänhoidollisin hakkuin. Tästä syystä niiden kasvu ja tuotos oli mahdollisimman hyvä kasvupaikkaan nähden, eikä latvuskerroksia yleensä ollut enempää kuin kolme. Edellä mainitusta syystä myös puulajien välinen kilpailu puuttui.

Kotimaisista puulajeista myös tammi, saarni ja yksi pihlajametsikkö olivat samoin istutettuja ja alusta pitäen metsänhoidollisesti käsiteltyjä. Useimmat lajit kasvoivat kuitenkin lähes luonnontilassa muiden puulajien joukossa tai alla (pähkinäpensas, pihlaja) tai avohakkuun seurauksena syntyneinä usein heikosti hoidettuina, lähes luonnontilaisina metsiköinä (halava, lehmus, haapa). Tuomi (*Prunus padus*) oli vallannut yhdessä lepän (*Alnus incana*) kanssa pellonreunojen hakamaa-alueita. Kataja oli

Taulukko 1. Tutkimusaineisto puulajeittain ja paikkakunnittain.
Table 1. The investigation material by tree species and localities.

Puulaji *Species*		Puulaji, n:o *Species, no*	Paikkakunta *Locality*	Koealoja, kpl *Number of sample plots*	Runkoja, kpl *Number of stems*
Sitkankuusi	*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.	1	Bromarv	1	10
Ajaninkuusi	*Picea jezoensis* (Sieb. & Zucc.) Carr.	2	Bromarv	1	10
			Punkaharju	1	8
Valkokuusi	*Picea glauca* (Moench) Voss	3	Bromarv	1	10
			Punkaharju	1	10
Omorikakuusi	*Picea omorika* (Pančić) Purkyně	4	Bromarv	1	10
			Punkaharju	2	20
			Tuusula	1	10
Engelmanninkuusi	*Picea engelmannii* (Parry) Engelm.	5	Punkaharju	1	10
Mustakuusi	*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.	6	Punkaharju	1	10
Koreankuusi	*Picea koyamai* Shiras	7	Punkaharju	1	10
Sahalininjalokuusi	*Abies sachalinensis* Mast.	8	Bromarv	1	10
Momijalokuusi	*Abies holophylla* Maxim.	9	Bromarv	1	10
Pihtakuusi	*Abies sibirica* Ledeb.	10	Punkaharju	1	10
			Heinola	1	10
			Tuusula	1	10
Douglaskuusi	*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (var. *caesia*)	11	Bromarv	1	10
			Punkaharju	1	10
			Tuusula	1	10
Sembramänty	*Pinus cembra* L.	12	Punkaharju	1	10
			Tuusula	1	10
Peukemänty	*Pinus peuce* Griseb.	13	Tuusula	2	20
Kanadan tuija	*Thuja occidentalis* L.	14	Bromarv	2	20
			Punkaharju	1	10
Kataja	*Juniperus communis* L.	15	Heinola	1	10
			Lapinjärvi	1	10
			Nauvo	1	8
Amerikanhieskoivu	*Betula papyrifera* Marsh. var. *neoalaskana*	16	Punkaharju	1	10
Tammi	*Quercus robur* L.	17	Bromarv	2	20
			Punkaharju	1	10
			Tuusula	1	10
Saarni	*Fraxinus excelsior* L.	18	Bromarv	1	20
Lehmus	*Tilia cordata* Mill.	19	Heinola	1	10
			Punkaharju	1	10
Vaahtera	*Acer platanoides* L.	20	Helsinki	1	20
Pihlaja	*Sorbus aucuparia* L.	21	Hämeenlinna	1	10
			Punkaharju	1	10
Tuomi	*Prunus padus* L.	22	Pusula	1	10
			Vihti	1	10
Halava	*Salix pentandra* L.	23	Pusula	1	10
			Vihti	1	9
Pähkinäpensas	*Corylus avellana* L.	24	Bromarv	1	10
			Vihti	1	10
Haapa	*Populus tremula* L.	25	Bromarv	1	10
			Hausjärvi	1	10
			Hämeenlinna	1	10
			Lapinjärvi	1	10
			Punkaharju	1	10
Yhteensä, kpl *All*				52	535



Kuva 1. Tutkimuspaikkojen sijainti.
Fig. 1. Location of the investigation sites.

kaikissa tutkimuskohteissa puumaista muotoa (*Juniperus communis* L. f. *suecica* (Mill.)Ait.), joka kasvoi ryhmissä harvapuustoisten kallioiden reunamilla.

Vaahtera oli alunperin syntynyt luontaisesti siemenestä lehtipuiden muodostaman verhopuuston alle. Varjostavien puiden poiston jälkeen metsikkö oli kehittynyt jo joitakin vuosia jokseenkin puhtaana vaahterametsänä.

3. TULOKSET

31. Puulajien alkuperä, puuaineen ominaisuudet ja käyttö

1. Sitkankuusi (*Picea sitchensis*)

Sitkankuusi on saanut nimensä levinneisyysalueeseensa kuuluvan Alaskan eteläpuolella sijaitsevan Sitkan saaren mukaan. Sen lisäksi puu kasvaa kapealla, mutta pohjois-eteläsuunnassa pitkällä rannikkoalueella Alaskasta Kaliforniaan asti.

Sitkankuusi on ainoa todella merellisessä ilmastossa kasvava kuusilaji. Se muodostaa usein laajoja puhtaita metsiä ja saavuttaa suotuisissa olosuhteissa kaikista kuusista suurimman koon eli noin 80 m pituuden ja 4 m rinnankorkeusläpimitan. Sitkankuusta viljellään myös Euroopassa menestyksellisesti mm. Englannissa, Saksan vuoristoissa, Tanskassa ja Etelä-Ruotsissa. Merellisen ilmaston kasvupaikkavaatimuksista johtuen se näyttää menestyvän meillä vain maan lounaisimmassa osassa.

Puuaine on rakenteeltaan enimmäkseen suorasyistä, tasarakenteista ja vähäpihkaista, kevyttä ja jokseenkin lujaa. Lujuusominaisuuksista mainittakoon suhteellisen heikko taivutuslujuus, mutta suuri puristuslujuus, iskunkestävyys ja sitkeys. Näistä syistä on työstettävyys hyvä esimerkiksi höyläyksessä ja naulauksessa sekä pintakäsittelyssä.

Sydänpuu erottuu pintapuusta vain heikosti. Näistä edellinen on kellertävä, vaalean tai punertavan ruskea ja jälkimmäinen varsin leveä ja vaalean keltainen.

Sitkankuusi on Luoteis-Amerikan taloudellisesti tärkeimpiä puulajeja, jota käytetään raaka-aineena sekä massa- että sahateollisuudessa. Painoon nähden sangen hyvien mekaanisten ominaisuuksien vuoksi se soveltuu myös moniin erikoistarkoituksiin, mm. lentokoneteollisuuteen sekä huonekalu-, laatikko-, soitinteollisuuteen ja talonrakennukseen. Toisaalta puuaine ei ole säänkestävää, kyllästäminen on vaikeaa, halkeilua ja kieroutumista esiintyy yleisesti.

2. Ajaninkuusi (*Picea jezoensis*)

Ajaninkuusi on Itä-Siperian rannikkoalueen ja Japanin saarten tärkein kuusilaji, jonka levinneisyysalue ulottuu Kamtšatkasta pohjoisessa Korean eteläkärkeen etelässä. Kasvunopeudeltaan se vastaa eurooppalaisia kuusia ja saavuttaa 50—60 metrin pituuden.

Taulukko 2. Koepuitten keskimääräisiä ominaisuuksia.
Table 2. Average properties of the sample trees.

Puulaji *Species*		$D_{1,3}$, cm *Dbh, cm*	Pituus, m *Height, m*	Ikä, a *Age, years*	[1] Metsätyyppi *Forest site type*	Alin elävä oksa, m *Lowest living branch, m*	Latvusraja, m *Crown limit, m*	Latvus, % *Crown, %*	Latvakasvain, cm *Annual shoot, cm*	Kapenemi-nen, cm *Tapering, cm*	Pohjapinta-ala, m^2 *Basal area, m^2*
Sitkankuusi	*Picea sitchensis*	17 (23)	13,1 (15) [2]	39	L	6,5	6,9	47,6	32	5	24
Ajaninkuusi	*Picea jezoensis*	13 (17)	11,5 (12)	47	L	4,0	5,0	57,0	30	4	25
		17	12,2	53	OMT	3,1	3,6	70,2	34	4	..
Valkokuusi	*Picea glauca*	17 (21)	20,5 (21)	45	L	10,2	11,1	37,8	31	2	..
		18 (22)	15,8 (17)	46	OMT	7,7	8,5	46,1	35	4	21
Omorikakuusi	*Picea omorika*	16 (19)	13,2 (14)	43	OMT	2,3	3,3	74,9	32	4	31
		15 (18)	11,3 (12)	41	MT	1,1	2,3	79,5	28	5	34
		19 (23)	13,8	49	OMT	2,6	3,3	76,1	36	4	..
		14 (17)	12,8 (14)	46	OMT	2,1	4,3	66,4	23	2	33
Engelmanninkuusi	*Picea engelmannii*	18 (21)	14,8 (16)	46	OMT	6,7	7,5	49,2	29	5	21
Mustakuusi	*Picea mariana*	14 (18)	8,8 (9)	47	OMT	1,6	2,5	71,5	15	5	17
Koreankuusi	*Picea koyamai*	17	11,6	46	OMT	2,9	3,1	73,3	38	6	..
Sahalinin-jalokuusi	*Abies sachalinensis*	18 (21)	13,0 (13)	44	OMT	2,8	4,0	69,5	32	5	31
Momijalokuusi	*Abies holophylla*	17 (23)	12,2 (13)	44	OMT	6,2	7,0	42,9	42	6	28
Pihtakuusi	*Abies sibirica*	21 (22)	18,7 (20)	72	MT	8,1	8,4	55,1	18	3	21
		16 (17)	14,5 (15)	35	OMT	7,2	7,2	50,6	23	3	30
		12 (15)	11,5 (13)	47	MT	3,4	4,6	60,0	19	4	22
Douglaskuusi	*Pseudotsuga menziesii*	16 (25)	13,5 (15)	45	OMT	7,0	7,7	43,1	23	4	21
		20 (23)	12,8 (14)	46	OMT	5,3	5,9	53,7	30	6	26
		18 (22)	13,2 (14)	41	OMT	4,8	5,8	56,1	54	5	24
Sembramänty	*Pinus cembra*	17 (19)	11,9 (12)	41	OMT	6,3	6,8	43,0	28	5	30
		13 (17)	8,9 (10)	51	MT	4,5	5,5	38,2	12	5	20
Peukemänty	*Pinus peuce*	20 (24)	16,1 (17)	46	OMT	7,7	10,1	37,3	37	4	26
		19 (23)	14,0 (15)	51	OMT	5,5	7,0	50,0	32	5	28
Kanadantuija	*Thuja occidentalis*	10 (12)	7,6 (8)	53		0,9	2,2	71,1	10	7(3)	..
		12 (14)	8,4 (9)	52		0,7	1,8	78,6	9	7(4)	..
		15 (17)	9,1 (10)	53	OMT	2,4	3,3	63,7	21	9(6)	..

Taulukko 2 jatkoa — *Table 2 cont.*

Puulaji *Species*		$D_{1,3}$, cm *Dbh, cm*	Pituus, m *Height, m*	Ikä, a *Age, years*	[1] Metsätyyppi *Forest site type*	Alin elävä oksa, m *Lowest living branch, m*	Latvusraja, m *Crown limit, m*	Latvus, % *Crown, %*	Latvakasvain, cm *Annual shoot, cm*	Kapenemi-nen, cm *Tapering, cm*	Pohjapinta-ala, m^2 *Basal area, m^2*
Kataja	*Juniperus communis*	10	6,3	130	VT (kiv.)	1,0	2,2	65,1	4	..	..
		11	5,5	103	VT (kiv.)	0,7	0,7	87,3	3	6	2
		7 (9)	5,2 (7)	46	MT	1,4	1,6	55,8	—	..	18
Amerikan-hieskoivu	*Betula papyrifera*	14 (16)	14,2 (15)	47	L	4,7	6,4	54,9	7	4	15
Tammi	*Quercus robur*	19 (21)	16,0 (17)	47	L	2,5	7,0	56,3	31	4	18
		19 (20)	16,0 (17)	50	OMT	3,5	6,4	60,0	33	5	15
		11 (16)	13,6 (16)	45	OMT	3,9	6,7	50,7	25	3	17
Saarni	*Fraxinus excelsior*	10 (12)	11,0 (12)	42	L	5,6	6,0	44,0	20	4	15
Lehmus	*Tilia cordata*	27	18,7	75	OMT	4,6	5,9	67,8	(18)	..	5
		15	15,4	60	L	3,9	6,8	55,8	26	4	20
Vaahtera	*Acer platanoides*	9	12,5	35	L	5,1	6,8	45,6	10	6	..
Pihlaja	*Sorbus aucuparia*	8	8,2	30	MT	2,8	3,8	53,1	15	..	..
		8	10,1	30	OMT	3,8	5,6	44,6	23	4	17
Tuomi	*Prunus padus*	7	6,8	20	OMT	0,7	2,8	58,8	32	..	..
		7	6,6	20	OMT	1,9	2,8	57,6	22	(2)	..
Halava	*Salix pentandra*	8	8,3	25	L	3,0	3,6	56,6	41	6(2)	..
		19	13,0	45	Le	4,7	5,6	56,9	15	6	..
Pähkinäpensas	*Corylus avellana*	8	10,0	27	OMT	4,3	5,6	44,0	25	4	..
		5	6,5	20	L	2,2	2,9	55,4	27	(2)	..
Haapa	*Populus tremula*	29	20,1	60	MT	10,4	11,8	41,3	14	5	..
		17	17,0	35	OMT (kiv.)	6,7	7,7	54,7	43	4	..
		10	14,3	40	MT	6,9	7,7	46,2	32	2	13
		10	11,6	20	MT	3,4	4,3	62,9	26	3	..
		22	20,1	60	L	7,7	9,0	55,2	33	4	22

[1] VT = Puolukkatyyppi — *Vaccinium type*
MT = Mustikkatyyppi — *Myrtillus type*
OMT = Käenkaali-mustikkatyyppi — *Oxalis myrtillus type*
L = Lehto — *Grass-herb forest type*
Le = Letto — *Fen*
Kiv. = Kivinen — *Stony*

[2] Valtapuut — *Dominant trees*

Suomalaiset viljelykokeet ovat onnistuneet kohtalaisen hyvin, joskin puu on verraten hidaskasvuinen. Laajaan levinneisyysalueeseen liittyvä suuri geneettinen vaihtelu tarjonnee kuitenkin mahdollisuuksia onnistuneisiin provenienssiristeytyksiin.

Puun kuori on sileä ja punaruskea, ja pintakuori irtoilee usein pieninä kulmikkaina paloina. Puuaine vastaa ulkonäöltään, rakenteeltaan ja koostumukseltaan kuusien puuainetta, mutta on yleensä tiheälustoisempaa. Myös tekniset ominaisuudet ja käyttö ovat tavallista kotimaista kuusta (*Picea abies* (L.) Karst.) muistuttavia. Puuta käytetään yleisimmin sahateollisuuden raaka-aineena, mutta Hokkaidolla sen merkitys on huomattava myös paperiteollisuudessa.

3. Valkokuusi (*Picea glauca*)

Valkokuusi kasvaa miltei koko Kanadan metsävyöhykkeessä sekä Yhdysvaltain suurten järvien alueella. Se on kangasmaitten puulaji, joka kasvaa metsänrajalla ja yllättävän karuillakin kasvupaikoilla, esim. hiekkakankailla. Eräillä alueilla Brittiläisen Kolumbian itärajoilla se muodostaa luontaisia risteytymiä engelmanninkuusen (*Picea engelmannii*) kanssa. Se muodostaa kasvualueillaan laajoja puhtaita metsiä, mutta esiintyy yleisesti myös sekametsinä useiden lehtipuiden kanssa.

Valkokuusen laajasta levinneisyydestä, esiintymisestä puhtaina metsinä ja verraten suuresta koosta johtuen se on eräs Pohjois-Amerikan tärkeimpiä puulajeja. Puu saavuttaa tavallisesti 20—30 m:n pituuden, 50—60 cm:n paksuuden ja karsiutuu tyydyttävästi.

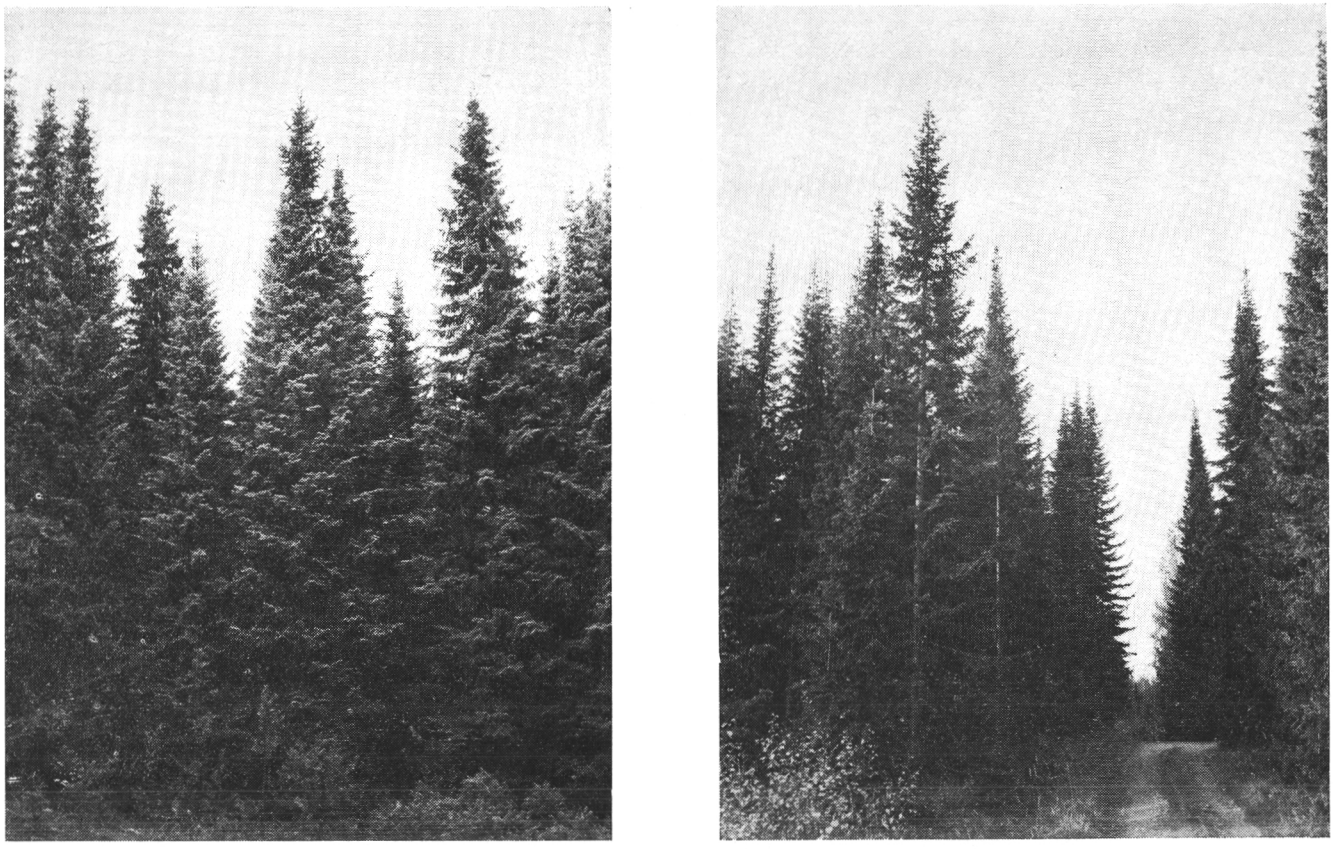
Valkokuusta on viljelty verraten vähän alkuperäisen kasvualueensa ulkopuolella, eikä se näytä tarjoavan huomionarvoisia etuja tavalliseen kuuseen verrattuna. Suomessa se on eri arboretumeissa menestynyt kohtalaisesti, joskaan kasvu ja tuotos eivät ole kotimaiseen kuuseen verrattavissa. Rotujen välillä esiintyvät erot ovat kuitenkin merkittäviä.

Vähäpihkainen puuaine on kauttaaltaan valkeaa ja hieman kellertävänruskeaa. Pintapuu ja sydänpuu erottuvat heikosti. Rakenne on hyvin suorasyinen ja ulkonäkö hieno ja tasalaatuinen. Puuaine muistuttaa erittäin paljon tavallista kuusta, jota se vastaa myös mekaanisilta ominaisuuksiltaan ja käyttömuodoiltaan.

4. Omorikakuusi (*Picea omorika*)

Omorikakuusi on tyypillinen vuoristopuu, joka on peräisin Dinarisilta alpeilta Jugoslavian keskiosista. Kuusilaji kasvaa luontaisesti vain noin 30 erillisessä metsikössä, joiden yhteinen pinta-ala jäänee yhteensä alle sadan hehtaarin. Omorikakuusi edustaakin vain rippeitä ja erikoista jäännettä tertiäärikauden muinoin laajoista metsistä. Puulle on ominaista runkojen ulkonäöllinen homogeenisuus, latvukset ovat harvaankin istutettuina lyhyt- ja hento-oksaisia, kapeita ja säännöllisen muotoisia (kuva 2).

Suppeasta levinneisyysalueesta johtuen omorikakuusen taloudellinen merkitys on jäänyt vähäiseksi. Luontaiset esiintymät, jotka sijaitsevat vaikeapääsyisillä paikoilla, ovat säilyneet suureksi osaksi koskemattomina ja rauhoitettuina. Kauniista, tasaisesta



Kuva 2. Ulkomaisia puulajeja. Omorikakuusi, ikä 50 a. Tuusula (vasemmalla). Pihtakuusi, ikä 50 a. Tuusula (oikealla).
Figure 2. Foreign tree species. Picea omorika, age 50 years. Tuusula (left). Abies sibirica, age 50 years. Tuusula (right).

muodosta ja erikoisesta hopeisesta ja sinivihreästä väristä johtuen se on Keski- ja Pohjois-Euroopan suosituimpia koristepuita myös kaupungeissa, joissa se on osoittautunut erityisen hyvin savua ja pölyä sietäväksi. Se on myös menestynyt hyvin ja sopeutunut luontaisesta kasvupaikastaan eroavassa ilmastossa. Omorikakuusi on kuitenkin melko hidaskasvuinen, mutta saavuttaa täysi-ikäisenä 30—40 m:n pituuden.

Suomessa omorikakuusta on viljelty paitsi koristepuuna myös metsikköinä siemenestä, joka on saatu joko suoraan Balkanilta tai muilta kotimaisilta viljelyksiltä. Yleensä viljelykset ovat menestyneet varsin hyvin, mutta omorikakuusi on kuitenkin osoittautunut kotimaista kuusta hidaskasvuisemmaksi.

Omorikakuusi muistuttaa rungoltaan kotimaista kuusta; runkomuoto on samanlainen ja kuori on verraten sileä, ruskean harmaa eikä kaarnoitu helposti. Puuaine on vaaleaa, tasalaatuista ja verraten pehmeää, eikä sydänpuuta ole havaittavissa värin perusteella.

5. Engelmanninkuusi (*Picea engelmannii*)

Engelmanninkuusi on Kalliovuorten tunnusomainen puulaji Pohjois-Amerikan länsiosassa, joskin sitä tavataan myös etelämpänä Meksikoon asti. Metsänrajapuulajina se nousee vuoristoissa aina 3700 metrin korkeudelle asti. Levinneisyysalueensa pohjoisosissa se risteytyy helposti valkokuusen kanssa.

Engelmanninkuusta on viljelty Amerikan ulkopuolella myös runsaasti koristepuuna, mutta sitä on kokeiltu lisäksi jonkin verran metsäpuuna esimerkiksi Skandinaviassa. Suomessa puuta on viljelty metsikköinä Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueissa sekä Mustilassa. Meillä se on menestynyt kohtalaisesti mutta ollut aika hidaskasvuinen, mikä ilmeisesti aiheutuu viljelypaikan ja kotipaikan valoilmastojen suurista eroista.

Latvuksen muoto on tuuhea, kartiomainen tai kapea ja terävähuippuinen. Engelmanninkuusi on melko pitkäikäinen, sillä se saattaa saavuttaa luonnonoloissa melko helposti 500 vuoden iän. Se kasvaa jopa 50 m pitkäksi ja saavuttaa metrin rinnankorkeusläpimitan.

Puuaineen väri vaihtelee kermanvalkoisesta vaalean kellertävänruskeaan. Pinta- ja sydänpuu ovat heikosti toisistaan erottuvia.

Vuosilustot ovat vaikeammin havaittavissa kuin muilla amerikkalaisilla kuusilajeilla, joita se vastaa mekaanisilta ominaisuuksiltaan. Puuaineen laatu saattaa vaihdella jonkin verran koti- ja kasvupaikan mukaan. Niinpä puuaineen kuiva-tuoretiheys on eräillä seuduilla hyvin alhainen, kun taas esimerkiksi Brittiläisessä Kolumbiassa puuaineen tiedetään olevan kovempaa ja painavampaa. Puutavaran kuivaus täytyy suorittaa hitaasti ja varovasti kutistumisen ja kieroutumisen välttämiseksi.

Engelmanninkuusi on arvokkaimpia amerikkalaisia kuusilajeja, jonka pääasiallinen käyttö on sahapuuna ja paperiteollisuuden raaka-aineena. Yhdysvalloissa sitä käytetään myös vaneriteollisuudessa. Puun työstö on helppoa, liimaliitokset pitävät hyvin, mutta naulat huonosti (S a l m i 1972).

6. Mustakuusi (*Picea mariana*)

Mustakuusi kasvaa Pohjois-Amerikassa Atlantilta Tyynelle valtamerelle kuitenkin rantavyöhykkeitä lukuun ottamatta. Pohjoisessa se nousee metsärajan korkeudelle, jossa kasvaa lähes pensasmaisena muotona. Etelässä se on levinnyt preerian rajoille asti. Eteläisillä levinneisyysalueilla se kasvaa korpimaisilla soilla, mutta pohjoisemmaksi siirryttäessä mustakuusta tavataan myös kangasmailla. Näin ollen puulajin kasvupaikan ilmastolliset ja maaperälliset vaatimukset vaihtelevat paljon.

Kasvupaikkojen vesiperäisyysvaatimusten vuoksi mustakuuseen on meillä asetettu toiveita soiden tai soistuneiden maiden metsittäjänä. Ainakin Etelä-Suomessa laji on menestynyt tyydyttävästi, joskin se on ollut hidaskasvuinen saavuttaen parhaissa tapauksissa 6 m pituuden 20-vuotiaana.

Laji on kuitenkin verraten hidaskasvuinen myös luontaisella levinneisyysalueellaan. Mustakuusi jää yleensä vain 15—20 m pituiseksi ja rungoltaan poikkeuksellisen hoikaksi puuksi. Runsaiden siemensatojen, kasvupaikkojen vesiperäisyyden ja herkän uudistuvuutensa ansiosta laji pystyy yleensä pitämään hyvin pintansa taistelussa elintilasta ja olemassaolosta.

Mustakuusen kuori on ohutta ja vaihtelee väriltään harmaan ruskeasta tummanruskeaan. Puuaine vastaa likimain tavallista eurooppalaista kuusta; se on pehmeää, keskilujaa ja kimmoisaa ja naulatessa helposti halkeavaa. Pienen kokonsa vuoksi mustakuusta käytetään pääasiassa kaivos- ja massapuuna.

7. Koreankuusi (*Picea koyamai*)

Koreankuusi on kotoisin Korean vuoristoista ja pieniltä alueilta Japanissa. Laji on Etelä-Suomessa viihtynyt yllättävän hyvin, mutta vaatimattoman kokonsa vuoksi sillä ei ole varsinaista metsätaloudellista merkitystä.

Tyypillistä lajille on, että nuorten ja keski-ikäisten runkojen kuori hilseilee rungon pituussuunnassa pitkänomaisiksi, violetinpunaisiksi suomuisiksi suikaleiksi. Oksat ovat pitkähköjä ja latvus usein jyrkän kartiomainen.

Lajilla on käyttöä lähinnä kuitupuuna sekä erikoisen ulkonäkönsä vuoksi koristepuuna.

8. Sahalininjalokuusi (*Abies sachalinensis*)

Sahalininjalokuusi kasvaa Sahalinilla, eteläisillä Kuriireilla ja Hokkaidossa esiintyen usein sekametsinä. Suomessa tätä kuusilajia on viljelty useina pieninä metsikköinä Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueissa ja Mustilan arboretumissa. Tulokset näistä kokeista osoittavat, että laji on useissa tapauksissa kärsinyt pakkasesta, mutta toisaalta se saattaa menestyä erittäin hyvinkin. Mustilassa sahalininjalokuuset ovat menestyneet muita *Abies*-lajeja paremmin. Puiden pituudeksi mitattiin 45 vuoden iässä yli 25 metriä ja rinnankorkeusläpimitaksi yli 40 cm. Kasvatustulokset osoittavat, että viljelytulokset riippuvat alkuperän onnistuneesta valinnasta.

Sahalininjalokuusi kasvaa jopa 40 m pituiseksi ja rinnantasalta 1 m paksuiseksi puuksi. Vaikka *Picea*-lajien puu yleensä arvostetaankin *Abies*-lajien puuta paremmaksi käytetään uudistusalojen istutuksiin puun alkuperäisillä kasvualueilla yleisesti sahalininjalokuusta sen nopeamman kasvun ja suuremman koon vuoksi.

Runko on suora, sileä, väriltään hopeanharmaa tai punertava ja kuori melko ohut, joskus pitkittäin halkeileva. Puuaine on vaaleaa tai vaalean kellertävää ja vähäpihkaisuudesta johtuen helposti lahoavaa ja pilaantuvaa. Lajin arvoa metsätaloudessa vähentääkin vanhojen jalokuusimetsien lahovikaisuus. Yleensäkin sen valmiin sahatavaran arvo on vähäisempi kuin paremmin lahoa kestävillä puulajeilla.

Sahalininjalokuusta käytetään etupäässä rakennuspuuna, laivanrakennukseen ja varsinkin Hokkaidolla paperiteollisuuden raaka-aineena.

9. Momijalokuusi (*Abies holophylla*)

Laji kasvaa Koreassa, Itä Mantšuriassa ja Amurin alueella vuoristoissa, joissa se esiintyy useasti sekametsinä pääasiassa erilaisten lehtipuiden kanssa. Momin kasvatuskokeita on tehty myös Suomessa Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueissa, Aulangon kansallispuistossa ja Mustilassa. Se on kasvanut tyydyttävästi mutta kärsinyt jonkin verran pakkasvaurioista. Ehkä tästä syystä pituuskasvu on jäänyt hieman heikoksi, kun taas paksuuskasvu on ollut voimakkaampaa. Rungon kuori on punertavan ruskeaa ja jo nuorella iällä silmiinpistävän voimakkaasti leveinä suomuina hilseilevää.

10. Pihtakuusi (*Abies sibirica*)

Pihtakuusi esiintyy laajoilla alueilla pohjoisella havumetsävyöhykkeellä Siperiasta metsänrajan läheisyydestä havumetsien etelärajalle asti. Etenkin leveyssuunnassa levinneisyysalue on laaja, Tyynen valtameren läheisyydestä Vienan Karjalaan asti. Vuoristoissa pihta kasvaa, tosin jo pensasmaisena, jopa 2 000 metrin korkeudelle. Se on varsin vaatelias valoon ja kasvualustaansa nähden. Se vaatii kosteutta ja mieluiten lehtomaisen kasvupaikan. Pihta ei kasva erityisen isokokoiseksi. Vaikka pituus saattaakin nousta 40 metriin saakka, runko jää hoikaksi. Tyypillistä pihtakuusimetsiköille on varsin suuri tiheys ja runkojen tasakokoisuus, joka heikentää metsiköiden luontaista harventumista. Eräs huomattava haitta sahateollisuuden kannalta on luontaisen karsiutumisen hitaus, jonka ansiosta kuolleet oksat säilyvät kauan puussa kylestymättä.

Pihtakuusi on ollut Euroopassa sileän, suoran runkonsa ja myös valoisilla kasvupaikoilla kaunismuotoiseksi kehittyvän latvuksensa ja tiheiden oksiensa johdosta suosittu koristepuu mutta myös kokeilun kohde monissa pihtaviljelmissä (kuva 2). Suomessa sitä on paljon kokeiltu paitsi valtion myös yhtiöiden ja yksityisten viljelmillä. Varsinkin monissa vanhimmissa viljelmissä, jotka perustettiin pihdan ja kuusen sekametsikköinä, pihta näyttää jäävän jonkin verran heikkokasvuisempana kehityksestä jälkeen, ellei sen vapauttamista suosita hakkuissa.

Yleisesti ottaen pihtakuusi on viljelykokeissa menestynyt hyvin, paljon paremmin kuin useimmat muut meillä viljellyt vieraat puulajit. Ilmeisesti mantereisesta ilmastosta olevan alkuperänsä vuoksi se kärsii joskus keväthalloista, joista johtuen sen kasvu jää hiukan oman kuusemme kasvua heikommaksi. Pihtakuusen levinneisyysalue on kuitenkin erittäin laaja, ja alkuperän onnistunut valinta saattaa antaa mahdollisuuksia tämän puulajin kasvattamiseen merkittävänä sekapuuna tai puhtainakin metsikköinä esimerkiksi puulajin vaihdoksen ollessa tarpeen.

Pihtakuusen kuori on sileä, ohut ja mustanharmaa. Runko on suora, solakka ja oksat karsiutuvat heikosti. Pintapuu ja sydänpuu eivät erotu toisistaan ja niiden alueella näkyvät vuosilustot selvästi leveinä juovina. Puuaine on rakenteeltaan suorasyistä ja näyttää karkeahkolta. Puu kutistuu vähän, se on kevyttä, pehmeää, pihkatiehyetöntä ja sydänhalkeamia ilmenee yleisesti. Ilmeisesti vähäpihkaisuudesta johtuen puu ei ole ulkoilmassa käytettynä kestävää. Työstöominaisuudet ovat hyvät, puuta on helppo halkaista, sahata ja höylätä.

Puuta käytetään etenkin rakennustarpeisiin, kuitenkin vähemmän vesi- ja ulkorakenteisiin. Talonrakennuksessa sitä käytetään paljon oviin, ikkunoihin ja lattioihin. Pihtakuusta käytetään myös sellun raaka-aineeksi ja jonkin verran sahapuuksi.

Erikoisesti on mainittava pihkan ja neulasista tislatun eteerisen öljyn käyttö kemiallisen teollisuuden raaka-aineena Neuvostoliitossa. Neulasista tislattua pihtaöljyä käytetään perusaineena kamferin valmistuksessa sekä kosmeettisessa, saippua- ja väriteollisuudessa.

11. Douglaskuusi (*Pseudotsuga menziesii*)

Douglaskuusi kasvaa Pohjois-Amerikan länsiosissa suurella alueella Kanadan eteläosasta Meksikoon, Tyyneltä valtamereltä Kalliovuorille sekä Brittiläisen Columbian sisäosissa. Erityisesti sahapuuna se on Pohjois-Amerikan länsiosien tärkein puulaji. Puu esiintyy lukuisina alalajeina ja kasvaa useimmiten yhdessä muiden havupuiden kanssa, joskin se muodostaa myös laajoja puhtaita metsiköitä. Se on myös Pohjois-Amerikan kookkaimpia puita ja saavuttaa jopa yli 100 metrin pituuden ja 4 metrin rinnankorkeusläpimitan. Douglaskuusi kasvaa myös vanhaksi, jopa yli 1 000 vuoden ikäisiä yksilöitä on tavattu.

Douglaskuusen arvo perustuu osittain suureen kokoon sekä puuaineen hyvälaatuisuuteen, josta johtuen soveltuvuus moniin käyttötarkoituksiin on hyvä, ja vielä varsin korkeassa iässäkin jatkuvaan kasvuun. Se kestää hyvin erilaisia hyönteis- ja sienituhoja sekä paksun kaarnansa ansiosta myös kuloja.

Erinomaiset tekniset ja metsänhoidolliset ominaisuudet ovat houkutelleet kasvattamaan sitä myös luontaisen kasvualueensa ulkopuolella, erityisesti Keski-Euroopassa. Siellä se on erilaisten tuhojen aiheuttamista vahingoista huolimatta saavuttanut merkittävän aseman paikallisten puulajien rinnalla.

Suomessa douglaskuusta on viljelty 1900-luvun alusta lähtien, jolloin kokeilun kohteena on ollut useita eri rotuja. Pakkasen lisäksi ovat sienituhot haitanneet viljelykokeita myös meidän oloissamme, mutta yleisesti ottaen tulokset ovat olleet suhteel-

lisen hyviä (kuva 3). Viljelyn onnistuminen riippuu kuitenkin pääasiassa alkuperäisen rodun onnistuneesta valinnasta.

Kuori on nuorissa puissa ohut, mutta vanhemmissa rungoissa se on tyypillisesti jopa 35 cm paksu, karkean epätasainen syvine vakoineen. Sydänpuuta, joka erottuu selvästi pintapuusta, on kahta eri tyyppiä, hidaskasvuisten yksilöiden punertavankeltainen ja nopeakasvuisten syvänpunainen sydänpuu.

Puutavarakaupassa nimellä *Oregon pine* tunnettu puu on puuaineeltaan yksi lujimmista havupuista. Se on kovaa ja kuivaa, keskinkertaisesti kutistuvaa, lujaa, suorasyistä ja kauniskuvioista, mutta helposti työstettävää ja kiillotettavaa. Se on suhteellisen vähäpihkaista, paisuu vain vähän kosteuden vaikutuksesta ja säilyttää kuivanakin hyvin muotonsa. Douglaskuusen puuaineen yleiset ominaisuudet ovat parempia kuin esimerkiksi tavallisella kuusella, jalokuusella tai lehtikuusella (S a l m i 1972).

Näistä syistä se on erinomainen sahapuu, mutta kelpaa hyvin myös vaneriteollisuuteen sekä pylväiksi, rakennusten sisä- ja ulkorakenteiden paalutukseen, seiniin ja lattioihin, laivanrakennukseen sekä kaivos- ja massapuuksi. *Oregon pine* on puutavarakaupassa yksi harvoista puulajeista, joista voidaan valmistaa todella hyvälaatuista, oksatonta, puhdasta ja järeää sahatavaraa (S a l m i 1972).

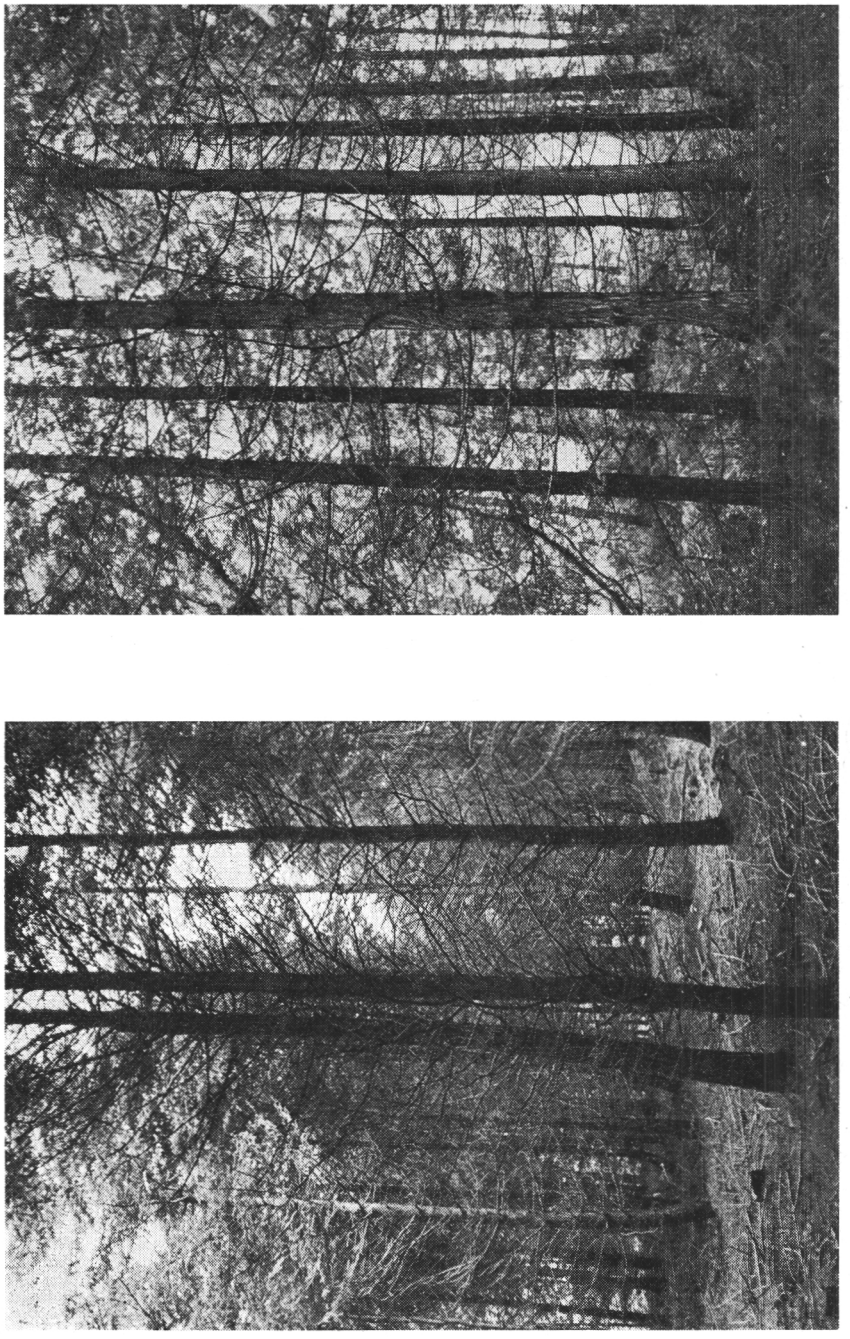
12. Sembramänty (*Pinus cembra*)

Sembramänty kasvaa pääasiassa kahtena rotuna toisaalta Euroopan Alpeilla sekä toisaalta Pohjois-Venäjällä ja Siperiassa etupäässä sekametsinä tai pieniä ryhmiä muodostaen. Kasvupaikat ovat hyvin vaihtelevat, sillä sitä esiintyy jokseenkin yhtenäisinä metsinä niin jokilaaksoissa kuin korkealla tyypillisenä vuoristopuunakin.

Se kasvaa 30—40 m pitkäksi, saavuttaa noin 40 cm läpimitan ja jopa 1 000—1 200 vuoden iän. Sembran ulkonäölle on leimaa-antavaa tuuhea, lyhyt ja paksuoksainen, pyöreämuotoinen latvus. Suljetuissa, tiheissä metsiköissä latvus on heikompi ja lyhyempi, mutta silloinkin kuivat oksat karsiutuvat heikosti.

Metsäpuuna sembramäntyä on varsinaisen kasvualueensa ulkopuolella viljelty vain vähän, pääasiassa Neuvostoliitossa ja Suomessa. Koristepuuna ja pienialaisina metsikköinä sitä on kuitenkin melko yleisesti viljelty Keski-Euroopassa ja Pohjoismaissa. Suomessa sembramänty on menestynyt tyydyttävästi, Siperian rotu aina Pohjois-Suomessa asti, joskin keväthallat ovat aiheuttaneet haaralatvaisuutta. Puiden kasvu on ollut jonkin verran hitaampaa kuin lajin luontaisilla kasvupaikoilla.

Kuori on aluksi sileä, harmaanvihreä mutta myöhemmin harmaanruskea, paksu ja uurteisesti halkeillut. Tuoreena vaalean punertava sydänpuu erottuu selvästi pintapuusta, mutta se muuttuu kuivuttuaan tumman punaruskeaksi likimain tavallista mäntyä muistuttaen. Kevät- ja kesäpuulle on tyypillistä niiden heikko erottuvuus ja vähittäin vaihtuvat rajat. Puuaineen tunnusomaisena piirteenä ovat lisäksi kiinteästi umpeenkasvaneet, punaiset oksat, joita sahatavarassa hyvin kiinnipysyvinä pidetään erityisen kauniina. Pihkatiehyitä on paljon, ja ne ovat suuria. Hartsipitoisella puuaineella on kestävä, miellyttävä tuoksu (S a l m i 1972).



Kuva 3. Ulkomaisia puulajeja. Douglaskuusi, ikä 45 a. Tuusula (vasemmalla). Kanadantuija, ikä 54 a. Bromarv (oikealla).
Figure 3. Foreign tree species. Pseudotsuga menziesii, age 45 years. Tuusula (left). Thuja occidentalis, age 54 years. Bromarv (right).

Puuaine on kevyttä, pehmeää ja hienosyistä, se kuivuu nopeasti halkeilematta ja kieroutumatta. Suuren lujuuden ja sitkeyden ansiosta puuta on helppo sahata, halkaista ja työstää. Vähäisen kutistuvuutensa vuoksi se on arvostettua vanerin väliviiluna. Liimat, maaliaineet ja lakat pysyvät hyvin puussa.

Puulla on alkuperämaissaan monipuolinen käyttö ulko- ja sisärakenteissa oksaisuudesta huolimatta. Se on suosittua huonekaluteollisuudessa, puusepänteollisuudessa, sisäseinien laudoituksessa, lyijykynäteollisuudessa sekä kestävyyttä ja pitkäikäisyyttä vaativissa rakenteissa kuten kattolautoina ja ratapölkkyinä.

Saksassa sembraa pidetään erinomaisena käyttöpuuna, ja varsinkin Sveitsi ja Itävalta käyvät kauppaa puulla jatkuvasti.

13. Peukemänty (*Pinus peuce*)

Peukemäntyä tavataan useilla melko pienialaisilla alueilla Euroopassa, mm. Balkanin niemimaalla sekä Jugoslavian ja Bulgarian vuoristoissa. Peuke on tyypillinen vuoristopuu, joka metsiä muodostavana kohoaa vuoristojen subalpiinisessa vyöhykkeessä aina 2 200 metrin korkeuteen asti. Se muistuttaa ulkonäöltään jonkin verran sembraa neulaskimppujensa ja tuuhean, oksikkaan latvuksensa johdosta.

Peuke on varsinkin nuorena hidaskasvuinen puu, joka parhailla kasvupaikoilla kuitenkin saavuttaa noin 30 m pituuden ja 40—60 cm läpimitan. Sitä on viljelty paljon koristepuuna myös Suomessa, mutta hidaskasvuisuutensa vuoksi se on ollut myös alkuperäisillä levinneisyysalueillaan metsäpuuna vähemmän suosittu. Vaikkakin peuke on vuoristopuu se on osoittautunut yllättävän kestäväksi luontaisen levinneisyysalueensa ilmastosta poikkeavissa oloissa.

Sen puuaine on pihkaista ja kestävää, mutta vailla huomattavaa metsätaloudellista arvoa.

14. Kanadantuija (*Thuja occidentalis*)

Tuija-suku on levinnyt Pohjois-Amerikkaan ja Itä-Aasiaan. Yhteisenä lajille tunnusomaisena piirteenä voidaan mainita puun suomumaiset lehdet sekä lyhytversot, jotka muodostavat kerrottuja saniaislehtiä muistuttavia valelehdyköitä. Kanadantuija, jota kutsutaan myös elämänpuuksi, on kotoisin Pohjois-Amerikan koillisosasta, Kaakkois-Kanadasta, Järvivaltioista ja Appalakkien vuoristosta. Pohjoisessa se muodostaa usein puhtaita metsiköitä, mutta esiintyy etelässä etupäässä sekapuuna. Se on menestynyt myös Suomessa yleensä melko hyvin, joskin juuriston kautta leviävä laho on haitannut ja lyhentänyt puiden kehitystä (kuva 3).

Puu muistuttaa usein ulkonäöltään sypressiä ja saavuttaa vain noin 15—20 m pituuden ja 90 cm läpimitan. Runko on tyvekäs ja usein monihaarainen, oksat paksuja ja huonosti karsiutuvia. Puu saattaa elää varsinaisilla kasvualueillaan 400-vuotiaaksi, mutta on jo paljon nuorempana pahasti lahovikainen. Kanadantuijaa ei juuri ole viljelty metsätaloudellisessa tarkoituksessa, mutta koristepuuna ja pensasaitoina se on yleinen sekä Amerikassa että Euroopassa.

Kuori on ohut, punertavanruskea ja säikeinen. Pintapuu on ohut ja vaalea, sydänpuu tuoreena vaaleanruskea, ilman vaikutuksesta tummuva. Vuosilustot ovat selviä, aaltoilevia tai karkeita. Puuaine on miellyttävän tuoksuista, kevyttä, pehmeää ja suorasyistä, kutistuu vähän, mutta on suhteellisen heikkoa ja murtuu helposti. Puuta ei voi kyllästää, sen halkaisu on vaikeaa, mutta työstö onnistuu hyvin ja pintojen kiillottaminen on helppoa.

Hyvän kestävyytensä vuoksi kanadantuijaa käytetään kasvuseuduillaan etenkin ulkotarkoituksiin, vesi- ja maarakennukseen, pylväiksi, aidoiksi, veneen- ja sillanrakennukseen ja tarkoituksiin, joissa edellytetään puuaineen vähäistä elämistä (S a l m i 1972). Meillä puuta on viljelty pääasiassa koristetarkoituksessa.

15. Kataja (*Juniperus communis*)

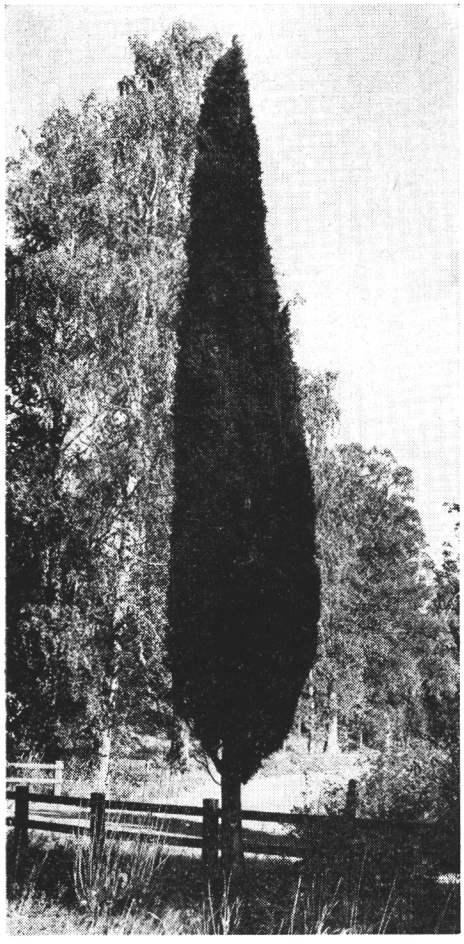
Kataja on levinnyt erittäin laajalle ympäri Eurooppaa, Aasiaa ja Pohjois-Amerikkaa. Meillä se esiintyy koko maassa, metsänrajalla tosin vaivaiskatajana. Katajaa tavataan useita erilaisia muotoja, kuten yleisimpänä Etelä- ja Keski-Suomessa esiintyvä puolipensasmainen, Pohjois-Suomessa vallitseva pensasmainen, pylväsmäinen (sypressimuoto) ja puumainen muoto (kuva 4).

Viimeksi mainittujen muunnosten esiintymisen voidaan osoittaa keskittyvän tietyille alueille maassa, pylväskatajan erityisesti Lounais-Suomen reheville alueille. Katajan tyypillisiä kasvupaikkoja ovat erityisesti sen valontarpeen vuoksi mm. kallioiden rinteet ja hakamaa-alueet, mutta melkein täysin se puuttuu vain kaikkein laihimmilta kangasmailta. Sille ovat tyypillisiä hyvin hidas kasvu ja pitkäikäisyys, sillä hyvissä kasvuolosuhteissa se saattaa saavuttaa jopa 2 000 vuoden iän, mutta kasvaa suurimmillaankin vain 15 m pitkäksi ja 60 cm läpimittaiseksi.

Katajan runko on usein uurteinen, kuori on harmaanruskeaa, usein punertavansävyistä, pitkinä suikaleina irtoavaa. Puussa ei ole pihkatiehyitä eikä pihkaa, pintakerros on melko ohut ja vaalea tai vaaleankellertävä ja sydänpuu ruskea tai ruskeanpunertava, ruskealäikkäinen ja himmeäkiiltoinen. Vuosilustot ovat karkeasti aaltoilevia ja ohuinakin selvästi erottuvia. Ydinsäteitä on paljon, mutta ne ovat vaikeasti havaittavissa, koska ne ovat ohuita, vain yhden solukerroksen vahvuisia. Puuaineessa on lajille tyypillinen miellyttävä, kauan säilyvä kamferimainen tuoksu.

Puuaine on ohutsyistä, pehmeää, melko raskasta, lujaa ja sitkeää sekä kohtalaisesti kutistuvaa. Puu on vaikeasti halkaistavaa mutta sen sijaan helposti taivutettavaa, helppoa sorvata ja työstää kaikilla työvälineillä. Puuaineeltaan se on hyvin kestävää lahoa ja hyönteistuhoja vastaan, kuivuu hitaasti eikä halkeile tai kieroudu (S a l m i 1972).

Katajaa on jo satoja vuosia käytetty esimerkiksi huonekaluihin ja puuastioihin ym. kotitarvekäyttöön, mikä varmasti on varsin pahasti vähentänyt erityisesti puumaista katajaa. Katajan koon vähäisyyden ja hitaan kasvun vuoksi sillä ei ole varsinaista teollista käyttöä, mutta sen arvo esimerkiksi matkamuistojen, astioiden ym. tarve-esineiden valmistuksessa on säilynyt.



Kuva 4. Pylväsmäinen kataja, Espoo.
Figure 4. Cypress-like juniper (Juniperus communis), Espoo.

16. Amerikanhieskoivu (*Betula papyrifera*)

Puulaji, joka tunnetaan myös nimellä valkokoivu, kasvaa Amerikan pohjois- ja itäosissa sekä Kanadassa. Laji on Pohjois-Amerikan laajimmalle levinneitä puulajeja. Suomeen perustetuissa kasvatuskokeissa se on menestynyt, mutta on kehittynyt hitaammin kuin oma rauduskoivumme (*Betula pendula* Roth).

Tuohi on kauniin valkoista, sitkeää, ohutta ja paperimaisesti irtoilevaa, meillä kuitenkin harmaanväristä. Sydänpuu ja pintapuu erottuvat kohtalaisesti toisistaan. Edellinen on väriltään vaaleanruskea ja punertavansävyinen. Ydinsäteet ovat ruskeanpunertavat ja vuosilustot selvästi havaittavia. Puuaine muistuttaa rakenteeltaan, ulkonäöltään ja mekaanisilta ominaisuuksiltaan paljon rauduskoivua mutta on hieman kevyempää. Se on lujaa, sitkeää, tiheäsyistä, kuivana hyvin kovaa ja muotonsa hyvin säilyttävää.

Amerikanhieskoivu ei ole yhtä arvokas käytön kannalta kuin muut amerikkalaiset koivulajit. Sitä käytetään etupäässä puusepänteollisuudessa ja pakkaustarkoituksiin.

17. Tammi (*Quercus robur*)

Tammi kasvaa lähes koko Euroopassa ulottuen Brittein saarilta Neuvostoliiton eteläosiin ja Välimereltä Etelä-Ruotsiin asti. Meillä levinneisyysalue on suppea, sitä tavataan luonnonvaraisena Ahvenanmaalla, Lounais-Suomessa ja Uudenmaan rannikkoseuduilla. Viljeltynä se menestyy pohjoisempanakin mutta kasvaa huonommin.

Tämä aikoinaan paljon yleisempi puulaji esiintyy meillä nykyisin yleensä yksittäispuuna tai pikkumetsikköinä ja vaatii kasvaakseen hyvän, kostean maapohjan. Levinneisyysalueensa pohjoisrajalla esiintyessään sen suora rungonosa muodostuu tavallisesti lyhyeksi, mutta metsäpuistamme paksuimmaksi ja latvus laajaksi ja voimakasoksaiseksi. Nuorena sileä, vihertävänharmaa parkkihappopitoinen kuori muuttuu vanhemmiten paksuksi ja syväuurteiseksi kaarnaksi. Tammi on pitkäikäinen puulaji saavuttaen jopa 2 000 vuoden iän.

Tammipuu on karkeasyistä, pintapuu kellanvalkoista, sydänpuu ruskeata. Leveät ydinsäteet näkyvät poikkileikkauksessa selvästi ja säteensuuntaisessa leikkauksessa muodostuu vaaleita peilejä. Se on hyvin painavaa, kimmoisaa, lujaa rasitusta sekä lahoa ja hyönteistuhoja vastaan, josta syystä se on aina ollut haluttua tiettyihin rakennus- ja käyttötarkoituksiin. Näistä mainittakoon etenkin huonekaluteollisuus, parkettilattiat, sisä- ja ulkorakenteet sekä laivan- ja veneenrakennus. Myös vesirakenteissa tammi on kestävimpiä puulajeja. Kotimaisella tammella ei kuitenkaan ole laadullisia ja määrällisiä edellytyksiä täyttää tammipuun kotimaan tarvetta, vaan tammipuutavara tuodaan ulkomailta. Meillä kasvavan tammen merkitys rajoittuu koriste- ja kotitarvepuuhun sekä istutettuina metsikköinä kokeilu- ja tutkimustarkoituksiin (kuva 5).



Kuva 5. 55-vuotias istutettu tammimetsä Bromarvissa.
Figure 5. 55 years old planted oak (Quercus robur) forest in Bromarv.

18. Saarni (*Fraxinus excelsior*)

Jaloista lehtipuistamme saarni on harvinaisin, vaikkakin sen pohjoisimpia esiintymispaikkoja yhdistävä raja kulkee jonkin verran pohjoisempana kuin tammen. Muutoin sen leviämisalue on Euroopassa suunnilleen tammea vastaava. Saarnen harvinaisuus johtuu osittain sen menestymisestä lähes pelkästään kalkkipitoisissa lehdoissa ja lehtokorvissa, jotka aikojen kuluessa ovat ihmisen toiminnan vuoksi melkein täysin hävinneet.

Saarni kehittyy hyvissä olosuhteissa hyvin kookkaaksi puuksi saavuttaen 30 m pituuden ja metrin läpimitan. Meillä pituus jää kuitenkin paljon vähäisemmäksi, joskin paksuus saattaa parhaimmillaan nousta metriin asti. Saarni kehittää parhaimmillaan kauniin, suoran rungon, jossa kaarna on sileätä, vaaleata ja vihreänharmaata muuttuen iän lisääntyessä uurteiseksi. Pintapuu on harmahtavanvalkoista, sydänpuu harmahtavan vaaleanruskeaa, selvä- ja komeakuvioista. Puuaine on yleensä sitkeää, kovaa, painavaa ja helposti kiillottuvaa.

Ominaisuuksiensa vuoksi saarnipuu on kysyttyä mm. huonekalu-, urheiluvälineja lentokoneteollisuudessa, soittimiin, parketteihin, vaneriviiluksi, työkaluihin sekä veneen- ja laivanrakennukseen. Suomen oloissa saarnen käyttö rajoittuu etupäässä puisto- ja koristepuuksi.

19. Lehmus (*Tilia cordata*)

Lehmus eli niinipuu kasvaa suurimmassa osassa Eurooppaa, levinneisyysalueen pohjoisrajan ollessa Suomessa Vaasa-Iisalmi-linjalla ja itäisimpien esiintymispaikkojen Keski-Venäjällä ja Uralin länsirinteillä. Kasvupaikkansa suhteen se ei ole erityisen vaatelias, mutta kehittyy kookkaaksi ainoastaan lehdoissa ja sitä vastaavissa rehevissä kasvupaikoissa.

Puu voi Suomessa saavuttaa noin 25 m pituuden ja metrin läpimitan. Runko on suora, pituuden puoliväliin asti oksaton, varsin helposti haaroittuva ja tuuhealatvainen. Se uudistuu helposti kantovesoista ja sietää varjostusta.

Kuori on nuorena sileä ja vihertävänharmaa mutta muuttuu myöhemmin repeytyväksi, tiheästi pitkittäisuurteiseksi ja tummanväriseksi kaarnaksi. Kuoren poikkileikkauksessa näkyvät selvästi lajille ominaiset sitkeäkuituiset niinisyykimput. Pinta- ja sydänpuuta ei voi erottaa toisistaan ainakaan värin perusteella, ja puuaine on valkoista, vanhemmiten ruskehtavaa, himmeäkiiltoista. Vuosilustot ovat vaikeasti erottuvia ja puuaineen rakenne on suorasyistä ja tasa-aineista. Puuaine kuivuu nopeasti, kutistuu voimakkaasti eikä ole kestävää. Se on kevyttä, pehmeää, sitkeää, taipuisaa ja helposti halkeavaa. Hiominen ja kaikenlainen muu työstö on helppoa.

Lehmusta on kauan käytetty veistomateriaalina ja sokkopuuna huonekaluteollisuudessa, sorvi- ja soitinteollisuudessa, muoteissa, laatikoissa ja paperiteollisuudessa. Rakennuspuuna lehmus on heikkoa. Nopean ja rehevän kasvunsa vuoksi se on suosittu koristepuu. Metsänhoidolliset hakkuut sekä lehmuksen vaateliaisuus kasvupaikkoihin nähden ovat suuresti vähentäneet sen määrää metsissä. Rehevien kasvu-

paikkojen raivaus maanviljelyksen käyttöön on muiden jalojen lehtipuiden, tammen, saarnen ja vaahteran tapaan supistanut lehmuksen kasvualueita.

20. Vaahtera (*Acer platanoides*)

Vaahteran varsinaiset kasvualueet ovat Etelä- ja Keski-Eurooppa sekä osa Etelä-Venäjää, joten luonnonvaraista vaahteraa tavataan meillä ainoastaan eteläisimmässä Suomessa. Vaahtera on tyypillinen vaatelias lehtopuulaji, jonka esiintyminen rajoittuu pääasiassa viljavimmille, pellonraivauksilta säästyneille alueille. Yhtenäisiä vaahtera-metsiköitä ei sen vuoksi nykyisin paljon tapaa, vaan puu esiintyy pääasiassa yksittäisinä sekapuina. Hakkuut vaikuttavat edullisesti sen kukkimiseen ja lisääntymiseen sille edullisilla kasvupaikoilla. Toisaalta se on arka keväthalloille, ja jänikset, myyrät ja hirvet hidastavat huomattavasti taimien varhaiskehitystä.

Vaahtera on nopeakasvuinen puulaji, joskin sen kasvu meidän oloissamme taantuu nopeammin kuin lähempänä optimikasvualueita. Se voi meillä kuitenkin kehittyä noin 20 m pituiseksi ja rinnankorkeusläpimitaltaan 60—70 cm paksuiseksi puuksi, joka muodostaa rehevän, leveän ja tiheän latvuksen.

Puun kuori, joka on nuorena sileä, harmaa tai mustanruskea, muuttuu jo verrattain aikaisin pitkä- ja syväuurteiseksi, tummaksi kaarnaksi. Puuaines on kovaa, sitkeää, melkein valkoista tai kellertävää, kuivana hyvin kestävää, kimmoisaa ja helposti kiillottuvaa. Raja pinta- ja sydänpuun välillä ei ole helposti näkyvissä, joskin sydänpuualue voi joskus olla vähän ruskehtavaa. Tangentinsuuntaisessa leikkauksessa pinta on kiiltelevää ja kesäpuurenkaat muodostavat näkyvän koristeen.

Puuta käytetään huonekalu-, sorvaus-, työkalu- ja varsinkin soitinteollisuudessa sekä värjättynä kalliimpien puulajien jäljittelyyn. Suomessa sen käyttö on vähäistä. Nopeakasvuisuutensa, rehevyytensä sekä syksyisin värikkäiden lehtiensä vuoksi vaahtera on suosituimpia koristepuita.

21. Pihlaja (*Sorbus aucuparia*)

Pihlajan levinneisyysalueeseen kuuluu suurin osa Eurooppaa sekä Vähä-Aasia ja Länsi-Siperia. Suomessa se on levinnyt koko maahan, joskin esiintymätaajuus vaihtelee. Sen on todettu jossakin määrin lisääntyvän pohjoisesta etelään päin ja toisaalta lännestä itäsuuntaan, ja erityisen taajoja esiintymisalueita on Lounais-, Järvi- ja Itä-Suomessa. Se ei ole kovin vaatelias kasvupaikan suhteen, mutta menestyy paremmin ja kehittyy nopeammin isokokoiseksi rehevillä kasvupaikoilla. Kulttuuritekijät, hakkuut ja kaskeaminen sekä mahdollisesti vanhoista pihlajaan liittyvistä taruista johtuvat suojelutoimet ovat parantaneet sen toimeentuloa ja lisänneet lajin määrää metsissä.

Pihlaja on vain noin satavuotiaaksi elävä puu, joka saavuttaa noin 15 m pituuden ja 40, jopa 70 cm rinnankorkeusläpimitan. Tyypillisiä sen kehityskaarelle ovat nopea kasvu nuorena ja kasvun taantuminen vanhempana. Hakkuuaukoissa, ahoilla ja peltojen reunamissa kasvaessaan se muodostaa lyhyen, tyvekkään ja runsaasti haarovan

rungon sekä pyöreänmuotoisen, leveän ja tiuhan latvuksen. Tiheänä metsikkönä kasvaessaan sen runko kehittyy kuitenkin suoraksi, solakaksi ja usein hieno-oksaiseksi.

Rungon kuori on nuorena sileä, vaalean- tai tuhkanharmaa, kiiltävä ja vanhalla iällä tummempi, kaarnainen. Puuaine on lyhyt- ja ohutsyistä, sydänpuu ja pintapuu ovat vaikeasti erottuvia (B e g e m a n n 1963—69). Ydinsäteet näkyvät heikosti. Pintapuu on paksuhko, punertavanvalkoinen, sydänpuu kellanruskea sekä pituussuuntaisessa leikkauksessa kiiltävä ja kauniskuvioinen. Vuosilustot erottuvat terävästi ja ovat kauniita, koska niitä rajaavat selväpiirteiset tummat viivat. Puuaine on keskiraskasta ja keskikovaa, sitkeää, vaikeasti halkaistavaa, verrattain taipuisaa mutta vähän kimmoisaa sekä melko voimakkaasti kutistuvaa ja paisuvaa (S a l m i 1977). Puun työstö, sorvaus, kiillotus ja pintakyllästys on helppoa. Kestävät puuliitokset onnistuvat hyvin, kuivaus on vaivatonta eikä taipumusta kieroiluun tai halkeiluun esiinny.

Kookkaista, terveistä rungoista saatavaa puuta voidaan käyttää sorvaamoissa, puusepänteollisuudessa ja veistotöissä. Pienioksaisista, hyvin karsiutuneista rungoista voidaan valmistaa vaneria. Parkkihappopitoista kuorta käytetään parkituksessa. Taloudellinen merkitys varsinkin Suomen oloissa on kuitenkin jäänyt vähäiseksi.

22. Tuomi (*Prunus padus*)

Puu kasvaa melkein koko Euroopassa sekä Länsi-Aasiassa, Siperiassa ja Intiassa. Se on siis levinnyt laajoille alueille, mutta verrattain vähäisen kokonsa vuoksi ja esiintyessään yksittäisinä puina tai ryhmissä se jää, kukinta-aikaa lukuunottamatta, varsin huomaamattomaksi. Suomessa se on myös levinnyt melkein koko maahan. Se vaatii varsin rehevän maapohjan, ja esiintymät keskittyvät usein vesistöjen rannoille.

Tuomi kuuluu lyhytikäisimpiin puulajeihimme. Sen kasvu hidastuu jo 20—30-vuotiaana, ja keskimääräinen elinikä on noin 60-vuotta.

Tuomi on usein pensas tai pensasmainen puu, mutta voi hyvissä olosuhteissa saavuttaa 15 m pituuden ja 60 cm rinnankorkeusläpimitan. Tuomi viihtyy hyvin, kuten pihlajakin, varjossa muiden puiden alla, mutta sen runko jää yleensä lyhyemmäksi ja mutkaisemmaksi kuin pihlajalla. Aukeilla paikoilla sen on jo alhaalta haaroittuva, paksuoksainen ja pyöreälatvainen.

Nuorena kuori on sileä, tummanharmaa, vanhempana mustanharmaa, pituussuuntaan uurteinen. Pintapuu on paksu, ja se on väriltään kellertävä, punertava tai valkea. Sydänpuu on väriltään vaaleanruskea tai epämääräisen tummanruskea, mutta puussa esiintyy tummuusasteeltaan vaihtelevia värijuovia ja läikkiä. Puuaine on pituussuuntaisessa leikkauksessa kiiltävää ja vuosilustot ovat havaittavissa ohuina viivoina.

Puuaineella on kitkerä manteli- tai etikkamainen haju, joka häviää kuivauksessa. Puuaine on jokseenkin ohutsyistä, verrattain kovaa, keskiraskasta, helposti halkeavaa, taipuisaa ja kimmoisaa, sitkeää ja lujaa. Se kuivuu nopeasti ja vaivattomasti, mutta

taipumusta kieroutumiseen esiintyy. Puuaine kutistuu vähän eikä ole sään- ja lahonkestävää. Työstäminen kaikilla työvälineillä on helppoa (S a l m i 1977).

Tuomea on käytetty puusepän- ja sorviteollisuudessa, mutta meillä sen taloudellinen merkitys on ollut vähäinen.

23. Halava (*Salix pentandra*)

Halava kasvaa suurimmassa osassa Pohjois- ja Keski-Eurooppaa sekä Pohjois-Aasiassa. Se esiintyy myös meillä koko maassa joskin esim. sukulaistaan raitaa harvinaisempana ja Lapissa sangen harvinaisena. Suomessa halava kasvaa alavilla rannoilla, tulvamailla ja korvissa ja vaatii runsasravinteisen kasvupaikan. Laji muodostaa yhtenäisiä kasvustoja ainoastaan poikkeustapauksessa sille hyvin soveltuvilla kasvupaikoilla.

Halavan kasvutapa vaihtelee isohkosta pensaasta tai pienestä, harvahaaraisesta 5—10 m korkeasta puusta yli 15 m pitkiin ja melko järeisiin puihin asti. Se muodostaa, kuten kaikki muutkin pajulajit, helposti kantovesoja, mutta juurivesoja syntyy vain juurien haavoituttua. Halava on yksi kaikkein helpoimmin tunnettavista pajulajeistamme. Lehdet ovat pitkiä, laakerin lehtiä muistuttavia, kiiltäviä ja tummanvihreitä. Se lisääntyy myös pistokkaista. Etelän lauhkeammassa ilmastossa sitä on kasvatettu tarvepuuksi, mutta nykyään sitä käytetään pääasiassa puistopuuna.

Halavan rungon kuori on harmaa ja halkeillut. Oksat sen sijaan ovat kiiltäväkuoriset, ruskeanvihreät. Halavan puuaine on kuten pajuilla yleensä verrattain kevyttä, pehmeää, hohkaista, sitkeää, taipuisaa, mutta vähän kimmoisaa. Pintapuu on vaaleaa, sydänpuu vaihtelevan väristä ruskeaa, hieman altista kieroutumaan ja tuoreena vaikeammin halkaistavaa kuin kuivana (S a l m i 1977).

Halava on taloudellisesti vähämerkityksellinen. Koristetarkoitusten lisäksi sitä on käytetty jonkin verran, kuten muitakin pajuja, koripajuteollisuudessa.

24. Pähkinäpensas (*Corylus avellana*)

Pähkinäpensaan kasvualue käsittää melkein koko Euroopan sen pohjoisimpia osia lukuunottamatta sekä Pohjois-Afrikan ja Vähän Aasian. Ilmastolliset olosuhteet rajoittavat meillä sen yhtenäisalueen käsittämään aivan lounaisimman Suomen, mutta sitä tavataan paikoitellen myös muualla Etelä-Suomen alueella.

Pähkinäpensas on tavallisesti pensasmainen, 3—5 m mittainen tai joskus, etenkin varjostetussa paikassa ja runsasravinteisella maapohjalla kasvaessaan jopa yli 10 m pitkäksi kehittyvä puu, joka haarautuu tavallisesti maanrajasta useaksi rungoksi. Puu on kalkinsuosija, mutta sitä esiintyy myös melko kuivilla rinnemailla. Metsien hakkuut ovat sen esiintymisalueilla jossakin määrin vahvistaneet lajia.

Oksien ja runkojen kuori on ohutta, harmaanpunertavaa, kiiltävää, vanhana hieman kaarnoittuvaa ja uurteista. Puuaine on punertavaa, kohtalaisen kovaa, erittäin kimmoisaa, kevyttä ja hyvää työstää, värittää ja kiillottaa.

Puuta käytetään jossakin määrin Keski-Euroopassa lujuutta ja kaunista ulkonäköä edellyttävien tarve-esineitten valmistamiseen sekä puun hiiltämiseen, mutta Suomen oloissa käyttö on hyvin vähäistä.

25. Haapa (*Populus tremula*)

Haapa on levinnyt melkein koko Eurooppaan, Pohjois-Aasiaan ja osiin Pohjois-Afrikkaa. Se kuuluu runsaslajiseen *Populus*-sukuun, joka on eräs kaikkein laajimmalle levinneitä lehtipuita. Haapa on Suomen metsissä yleinen puulaji, joka on levinnyt koko maahan. Vaikkakin haapaa on osittain kautta aikojen pidetty rikkaruohon kaltaisena sen lahoherkkyyden, runsaan vesomisen ja männyn versoruostetaudin levittämisen vuoksi, on metsien koko puustosta kuitenkin haapaa noin 1 %.

Haapa on hyväpohjaisten maiden kuten lehtojen puulaji. Se tulee kyllä toimeen melko karuillakin kasvupaikoilla, mutta elävän haavan alttius laholle tulee tällöin korostetusti esille. Puu on yleensäkin erittäin arka kaikenlaisille vioittumisille, etenkin oksantynkien kautta kehittyvälle ja suuresti arvoa alentavalle sydänlaholle. Haapa on lyhytikäinen, mutta suotuisalla kasvupaikalla nuorena nopeakasvuinen saavuttaen edullisissa olosuhteissa kuitupuun koon noin 10-vuotiaana, tukkipuun mitat 35-vuotiaana ja suurimmillaan noin 30 m pituuden ja 100 cm rinnankorkeusläpimitan. Se muodostaa nopeakasvuisia risteymiä amerikanhaavan (*Populus tremuloides* Michx.) kanssa.

Rungon kuori on nuorena pitkään sileä, kellanvihreä. Se muuttuu iän lisääntyessä harmaaksi, pitkittäissuuntaan halkeilevaksi ja kaarnamaiseksi. Runko on yleensä solakka, suora ja hyvällä maapohjalla korkealle karsiutunut.

Pintapuu ja sydänpuu eivät ole visuaalisesti erotettavia. Puuaineen väri vaihtelee valkeasta vaaleanharmaaseen eikä vuosilustojen kevät- ja kesäpuun rajaa ole helppo havaita. Rakenne on suorasyistä, tasalaatuista ja kevyttä, pituussuuntaisessa leikkauksessa nukkapintaista. Sitkeys-, kimmoisuus- ja taipuisuusominaisuudet ovat kohtalaisen hyvät mutta lujuusominaisuudet heikot. Puu halkeaa työstettäessä helposti, kutistuu ja paisuu kohtalaisesti, ja kuivuu nopeasti. Puuaine ei ole helposti halkeilevaa.

Vaikkakin ulos varastoitu puu on yleensä varsin nopeasti lahoavaa, kuorellinen haapakuitupuu ja tukit säilyvät esimerkiksi koivua paremmin. Osittain tämä johtuu siitä, ettei haapapuussa juuri esiinny kaarnakuoriaisia.

Työstö on kaikilla työvälineillä vaivatonta, mutta työkalut kuluvat ja tylsyvät normaalia helpommin. Pintakäsittely, liimaus, naulaus ja kemikaalien imeyttäminen on helppoa.

Haapapuun käyttäjänä on ensimmäisellä tilalla kuituteollisuus ja toisena tulitikkuteollisuus, jonka vuotuinen käyttömäärä on enää 1/10 edellisestä. Haapapuun erityisongelma käytön kannalta on yleisesti esiintyvät väriviat sekä säteettäinen punalaho, joka katsotaan erittäin pahaksi viaksi varsinkin pölkkyjä sorvattaessa. Lisäksi haapaa käytetään moniin muihinkin tarkoituksiin, kuten laatikoiden, huonekalujen, lastu- ja kuitulevyjen ja lastuvillan valmistukseen. Myös erityisesti keveyttä, pehmeyttä mutta

suhteellisen hyvää lujuutta vaativissa tarkoituksissa kuten soittimien, leikkikalujen ja urheiluvälineiden valmistuksessa on haapa ollut kysyttyä. Lisäksi haapatukkeja myydään sellaisenaan jonkin verran vuosittain ulkomaille.

32. Puutekniset ominaisuudet

Luston leveys ja kesäpuuprosentti

Taulukossa 3 esitetään eri havupuulajien luston leveys ja kesäpuuprosentti rinnankorkeudella ensimmäisen ja toisen kymmenvuotiskauden ajalta puun pinnasta lukien. Lähes jokaisella koealalla luston leveys pienentyi huomattavasti ja kesäpuuprosentti kasvoi iän lisääntyessä. Koska havupuurungon kesäpuuprosentti yleensä kasvaa ytimestä pintaan sekä pienenee tyvestä latvaa kohti, luvut esittävät lähellä rungon maksimia olevia kesäpuuprosentteja.

Lukujen voidaan katsoa kuvaavan hyvin puulajien välisiä eroja, sillä metsiköiden iässä ei ollut suurta eroa. Eri puulajien tai puuyksilöiden vertailussa on iällä näet luston leveyden lisäksi suurin vaikutus kesäpuuprosentin suuruuteen ainakin suomalaisilla havupuilla (H a k k i l a 1968). Taulukon 3 luvut osoittavat mäntylajien kesäpuuprosentin olevan huomattavasti eri kuusilajien kesäpuuprosentteja alhaisemmat, vaikkakin metsiköiden välinen vaihtelu oli suuri.

Taulukko 3. Luston leveys ja kesäpuuprosentti rinnankorkeudella 1. ja 2. kymmenvuotiskaudella rungon pinnasta lukien.
Table 3. Width of the annual ring and the latewood percentage on the stem surface at breast height in the 1st and 2nd 10-year period.

Puulaji *Species*		Luston leveys, mm — *Annual ring, mm*			Kesäpuuta, % — *Latewood, %*		
		1. 10 vuotta *1. 10 years*	2. 10 vuotta *2. 10 years*	Keskimäärin *Average*	1. 10 vuotta *1. 10 years*	2. 10 vuotta *2. 10 years*	Keskimäärin *Average*
Sitkankuusi	*Picea sitchensis*	2,4	5,1	3,6	44,1	43,9	44,0
Ajaninkuusi	*Picea jezoensis*	1,2	2,8	2,0	40,6	25,4	33,0
Valkokuusi	*Picea glauca*	9,9	1,7	1,4	41,9	43,7	42,8
		1,3	2,2	1,8	30,5	20,7	25,6
Omorikakuusi	*Picea omorika*	1,6	3,3	2,4	40,7	30,1	35,4
		1,9	3,1	2,5	27,1	19,9	23,5
		1,3	2,8	2,0	35,4	22,1	28,8
Engelmanninkuusi	*Picea engelmannii* ..	1,1	1,9	1,5	32,9	26,5	29,7
Mustakuusi	*Picea mariana*	1,3	1,7	1,5	33,4	30,0	31,7
Sahalininjalokuusi	*Abies sachalinensis* ..	2,4	3,8	3,1	40,2	33,1	36,7
Momijalokuusi	*Abies holophylla* ...	1,9	3,8	2,9	36,3	30,9	33,6
Pihtakuusi	*Abies sibirica*	1,2	2,6	1,9	38,4	30,5	34,4
Douglaskuusi	*Pseudotsuga menziesii*	1,1	2,5	1,8	44,0	40,0	42,0
		0,9	0,9	0,9	33,8	32,4	33,1
		2,3	3,3	2,8	32,6	24,9	28,7
Sembramänty	*Pinus cembra*	1,6	3,2	2,4	28,2	19,8	24,0
		1,6	3,2	2,4	28,2	19,8	24,0
		0,8	1,4	1,1	38,2	32,4	35,3
Peukemänty	*Pinus peuce*	1,9	3,0	2,4	32,4	22,1	27,3
		1,7	3,0	2,3	31,7	24,7	28,2
Kataja	*Juniperus communis* .	0,5	..	..	16,4	..	..

Esimerkiksi meikäläisellä männyllä rungon kesäpuuprosentin keskiarvo sijoittuu noin 30 %:n suhteelliselle korkeudelle (Hakkila 1967 a, Uusvaara 1974). Vaikkakaan kotimaisista havupuulajeista ja tässä työssä saatuja kesäpuuprosentteja ei voi käytetystä menetelmästä johtuen täysin verrata keskenään, näyttävät eräiden kuusilajien kesäpuupitoisuudet olevan korkeampia kuin tavallisella kuusella.

Etelä-Suomen viljelymänniköissä on runkojen keskimääräiseksi kesäpuuprosentiksi saatu 27 (Uusvaara 1974) ja mänty- sekä kuusipaperipuupölkkyjen kesäpuupitoisuudeksi vastaavasti 26 ja 23 prosenttiyksikköä (Hakkila 1968).

Kosteussuhde

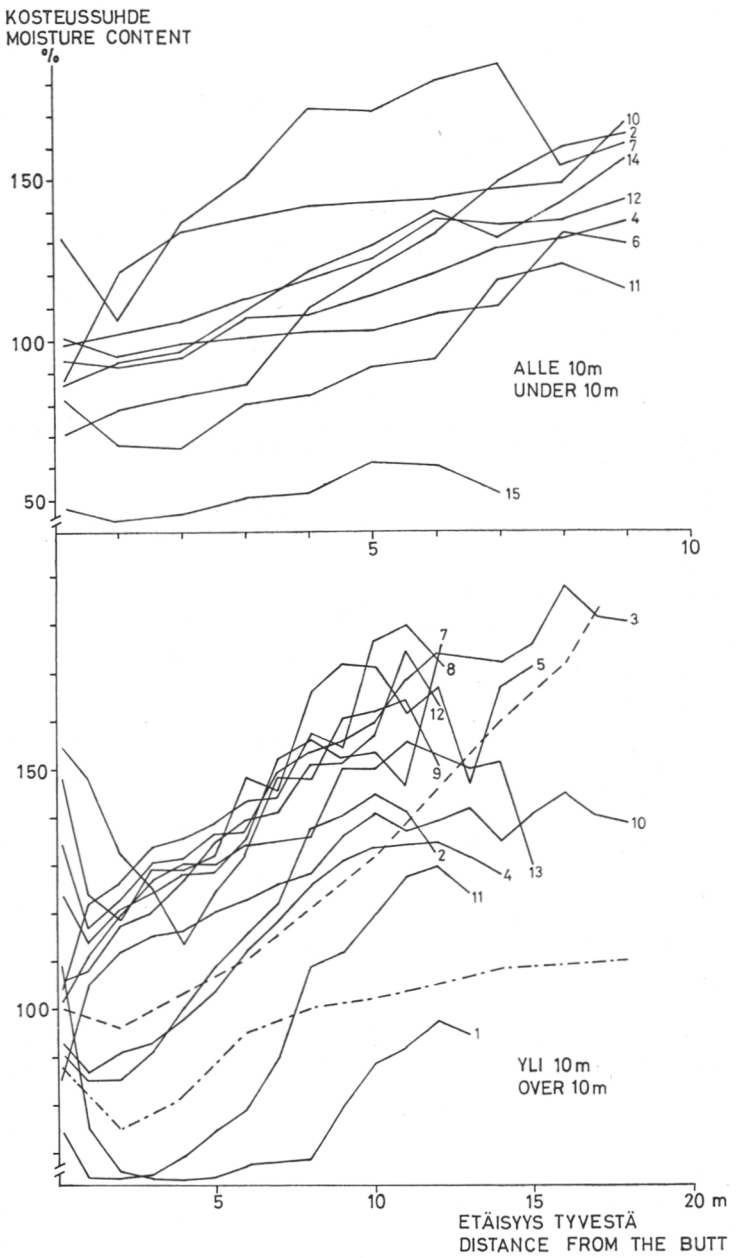
Useimmilla havupuilla puuaineen kosteussuhde nousi verraten tasaisesti puun tyveltä latvaa kohti (kuva 6). Eräillä lajeilla, kuten douglaskuusi, sitkankuusi, ja momijalokuusi kosteussuhde laski ensin tyvestä 2—4 m korkeudelle asti ja kohosi sitten latvaan saakka. Saavutettuaan maksimiarvonsa joidenkin lajien runkopuun kosteussuhde kääntyi jälleen laskuun latvuksen yläosassa.

Havupuilla rungon kosteuden vaihtelut riippuvat etupäässä sydänpuun määrästä, sillä sydänpuun muodostumiseen liittyy yleensä voimakas kosteussuhteen aleneminen mantopuuhun verrattuna (Kärkkäinen 1977, s. 137). Esimerkiksi koivulla ja monilla muilla lehtipuilla ei ole vastaavaa ilmiötä. Joskin havupuiden, esimerkiksi männyn, pintaosan kosteussuhteen tiedetään jonkin verran muuttuvan rungon eri osissa, eri korkeuksilta otetun poikkileikkauksen kosteussuhde määräytyy pääasiassa sydänpuupitoisuuden mukaan. Näin ollen havupuulajien rungon pituussuuntaiset kosteussuhteen vaihtelut selittyvät suurelta osin kuvan 10 esittämien puulajeittaisten sydänpuuprosenttien avulla.

Myös puulajien keskimääräisessä kosteussuhteessa oli suuria eroja (taulukko 4). Erityisen korkeaksi kohosi valkokuusen ja engelmanninkuusen puuaineen kosteussuhde, kun taas niiden sydänpuuprosentti oli alhainen. Korkein sydänpuuprosentti ja vastaavasti alhaisin rungon keskimääräinen kosteussuhde oli katajalla, joskin myös sen mantopuuosa oli poikkeuksellisen kuivaa.

Useimpien havupuiden, myös mäntylajien, sembramännyn ja peukemännyn, kosteussuhde oli korkeampi kuin kotimaisen männyn. Tavallisen kuusen puuaineen kosteussuhde on tutkituista puulajeista kuivimpien tasoa, mutta myös sen sydänpuuprosentti on niihin verrattuna kaikkein korkein (kuva 10).

Havupuista poiketen Suomessa kasvavien lehtipuiden sydänpuu on yleensä väritöntä, kosteus ei juuri olennaisesti poikkea mantopuusta, eikä muitakaan tärkeitä rakenteellisia eroja ole sydänpuun ja pintapuun välillä. Myös lehtipuulajien puun keskiosien kuolleita solukoita koskevat tutkimukset ovat puutteellisia. Tästä johtuen ei lehtipuurunkojen kosteuden vaihteluja voida suoranaisesti selittää sydänpuuprosentin avulla.



Kuva 6. Havupuiden puuaineen kosteussuhteen vaihtelu rungon pituussuunnassa. Numerot viittaavat taulukon 1 puulajien numerointiin. - - - - - - Männyn (*Pinus sylvestris*) rungon kosteussuhde T a m m i s e n (1962) mukaan ja - · - · - · - kuusen (*Picea abies*) rungon kosteussuhde T a m m i s e n (1964) mukaan.

Fig. 6. Variation along the stem of the moisture content of the wood of the softwoods. The numbers refer to the numbering of the tree species in Table 1. - - - - - - *Stem moisture content of pine (Pinus sylvestris) according to* T a m m i n e n *(1962) and that* - · - · - · - *of Norway spruce (Picea abies) according to* T a m m i n e n *(1964).*

Taulukko 4. Koepuitten keskimääräisiä puuteknisiä ominaisuuksia.
Table 4. Average wood-technical properties of the sample trees.

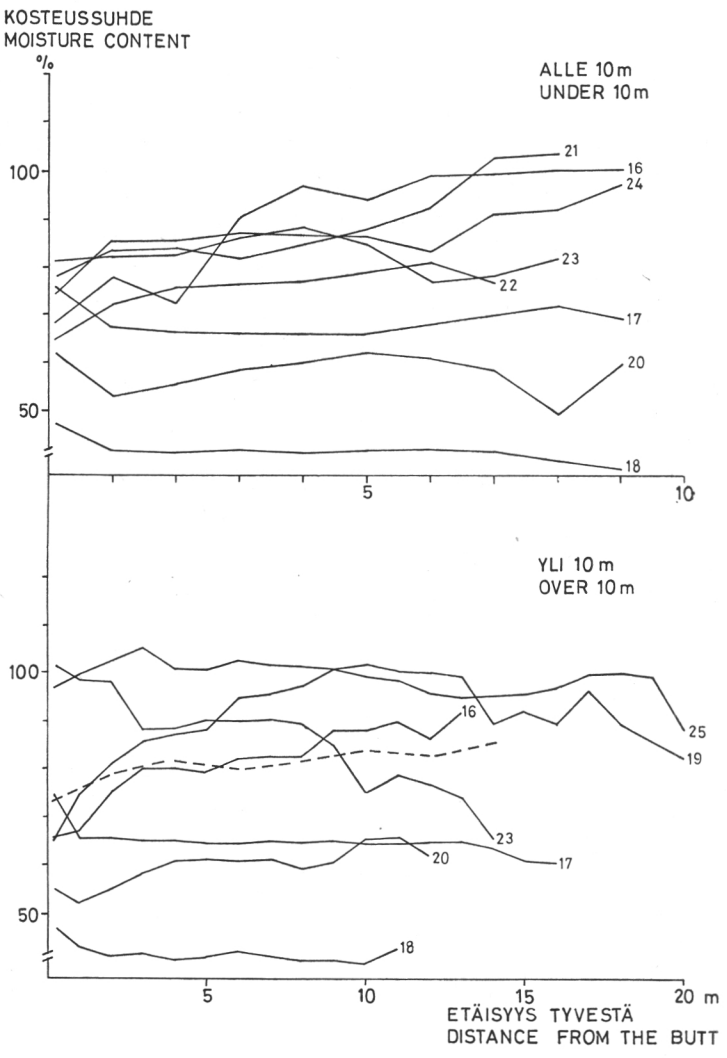
Puulaji *Species*		Sydänpuu, % *Heartwood, %*		Kosteussuhde, % *Moisture content, %*		Oksapuu, % *Knotwood, %*		Kuiva-tuoretiheys, kg/m³ *Basic density, kg/cu.m.*		Kuori-% *Bark, %*	
		x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s
Sitkankuusi	*Picea sitchensis*	35,5	..	75	..	1,9	..	410	..	12,2	..
Ajaninkuusi	*Picea jezoensis*	..	..	106	..	1,5	..	394	..	10,7	..
Valkokuusi	*Picea glauca*	26,7	7,7	144	19,5	3,3	2,2	367	20,3	11,3	1,2
Omorikakuusi	*Picea omorika*	37,0	7,0	105	10,6	1,7	1,1	400	21,0	11,8	1,3
Engelmanninkuusi	*Picea engelmannii* ..	30,8	..	141	..	3,2	..	388	..	12,6	..
Mustakuusi	*Picea mariana*	..	..	102	..	..	..	411	..	16,3	..
Koreankuusi	*Picea koyamai*	..	..	138	..	1,2	..	362	..	14,5	..
Sahalininjalokuusi	*Abies sachalinensis* ..	50,6	..	125	..	2,9	..	330	..	11,9	..
Momijalokuusi	*Abies holophylla* ...	50,5	..	138	..	2,2	..	365	..	15,5	..
Pihtakuusi	*Abies sibirica*	40,5	26,3	124	16,8	3,5	1,3	353	25,9	11,6	1.5
Douglaskuusi	*Pseudotsuga menziesii*	50,9	8,4	80	11,7	2,8	2,1	428	29,0	13,2	2,1
Sembramänty	*Pinus cembra*	37,4	5,4	118	13,8	0,8	0,5	388	29,5	11,9	2,1
Peukemänty	*Pinus peuce*	..	..	120	13,6	..	..	367	37,0	9,5	1,3
Kanadantuija	*Thuja occidentalis* ..	45,2	12,9	107	23,4	0,6	0,6	328	23,3	14,1	2,5
Kataja	*Juniperus communis* .	70,6	11,3	45	12,6	3,6	3,1	508	41,6	14,5	3,2
Amerikanhieskoivu	*Betula papyrifera* ..	..	..	79	4,4	..	..	469	..	16,2	2,2
Tammi	*Quercus robur*	60,4	6,3	66	5,4	2,1	1,3	602	26,3	12,1	1,5
Saarni	*Fraxinus excelsior* ..	22,7	..	42	1,7	1,8	1,3	587	23,3	13,5	1,9
Lehmus	*Tilia cordata*	..	..	89	11,2	1,7	0,5	389	28,4	24,1	4,8
Vaahtera	*Acer platanoides* ...	..	..	59	2,4	0,6	0,8	546	24,1	10,6	1,3
Pihlaja	*Sorbus aucuparia* ...	..	..	84	8,3	2,2	1,1	542	50,0	15,1	3,3
Tuomi	*Prunus padus*	10,3	..	73	4,8	0,4	..	497	21,9	10,8	1,2
Halava	*Salix pentandra* ...	34,7	12,5	88	12,7	1,9	2,8	442	35,7	15,7	2,5
Pähkinäpensas	*Corylus avellana* ...	..	..	84	8,5	0,8	..	501	20,5	11,5	2,1
Haapa	*Populus tremula* ...	23,5	8,5	104	16,0	1,1	0,9	390	16,9	14,4	1,5

Lehtipuilla kosteussuhde oli rungon pituussuunnassa tasainen tai nousi vain lievästi latvaa kohti (kuva 7, vrt. L e h t o n e n ym. 1978). Poikkeuksen muodostavat lehmus, jolla kosteussuhde ensin nousi rungon puoliväliin ja laski sitten latvaa kohti, sekä halava, jonka kosteussuhde muista puulajeista poiketen laski latvaa kohti. Myös kosteussuhteen pienet keskihajontaluvut osoittavat, että runkojen välinen kosteuden vaihtelu eri puulajeilla oli vähäinen (taulukko 4).

Kotimaiset koivut sijoittuivat muihin lehtipuulajeihin verrattuna kosteudeltaan keskivaiheille yhdessä amerikanhieskoivun kanssa (vrt. H a k k i l a ym. 1970).

Kuoripitoisuus

Kuoripitoisuus, jolla tässä yhteydessä tarkoitetaan kuoren osuutta kuorellisen puun kuivasta massasta, laski havupuilla tyveltä 2—3 m etäisyydelle ja joillakin puulajeilla aina rungon puoliväliin asti ja nousi sen jälkeen latvaa kohti (kuva 8). Rungon tyviosassa puulajien väliset kuoriprosenttierot olivat pienet, mutta kasvoivat kohti latvaa. Runkojen välisten erojen voidaan katsoa riippuvan puulajin lisäksi osittain myös rungon pituudesta, sillä lyhyillä rungoilla kuoriprosentti on korkeampi ja muuttuu jyrkemmin latvaa kohti kuin pitkissä rungoissa (H a k k i l a 1967 b).



Kuva 7. Lehtipuiden puuaineen kosteussuhteen vaihtelu rungon pituussuunnassa. Numerot viittaavat taulukon 1 puulajien numerointiin. - - - - - - Koivun (*Betula pendula*) rungon kosteussuhde Hakkilan ym. (1970) mukaan.

Fig. 7. Variation along the stem of the moisture content of the wood of the hardwoods. The numbers refer to the numbering of the tree species in Table 1. - - - - - - *Stem moisture content of birch* (*Betula pendula*) *according to* Hakkila *et al.* (*1970*).

Lehtipuiden kuoripitoisuus nousi latvaa kohti havupuita tasaisemmin haapaa lukuunottamatta (kuva 9). Ainoastaan vertailuksi otetulla rauduskoivulla kuoriprosentti ensin laski tyven läheisyydessä kuten havupuillakin ja nousi sen jälkeen kohti latvaa (Hakkila 1967 b).

Kuoripitoisuuden vaihtelu rungon eri osissa riippuu toisaalta kuoren paksuuden ja toisaalta kuoren ja sitä vastaavan puun tiheyden vaihtelusta. Puuaineen kuiva-tuoretiheys nousee monilla puulajeilla, mm. meikäläisellä männyllä, kuusella ja koivulla iän mukana ja laskee rungossa tyvestä latvaa kohti (Hakkila 1966, Uusvaara 1974). Tästä johtuen eräillä puulajeilla, joilla on alhainen puuaineen kuiva-tuoretiheys, on korkea kuoriprosentti (esimerkiksi koreankuusi, momijalokuusi, lehmus ja halava (kuvat 8—9). Suhde voi olla myös päinvastainen (esimerkiksi vaahtera ja tammi). Toisaalta sekä kuoripitoisuus että puuaineen kuiva-tuoretiheys voivat olla korkeat (esimerkiksi kataja ja pihlaja).

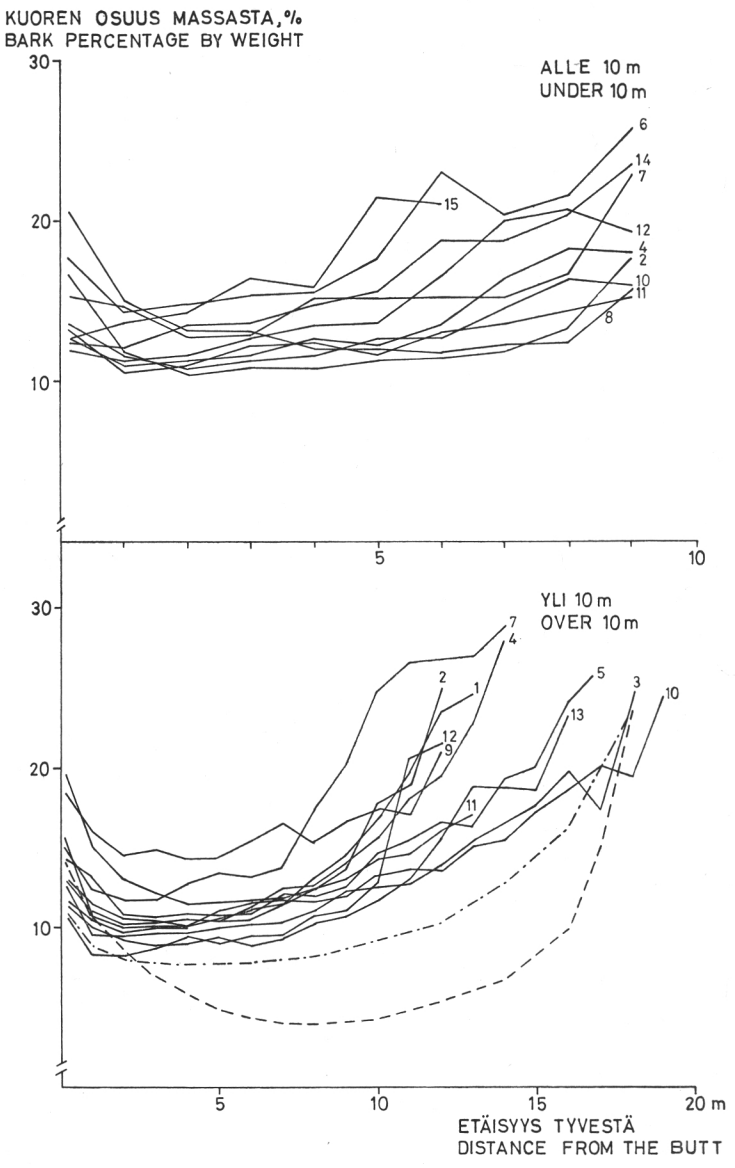
Kuvissa 8 ja 9 esitetyt suomalaisen männyn, kuusen ja koivun kuoripitoisuudet (Hakkila 1967 b) ovat alhaisemmat kuin vieraiden havupuiden tai muiden kotimaisten lehtipuiden kuoriprosentit. Tämä johtuu aivan ilmeisesti pääasiassa siitä, että vertailuna käytetty puusto on ollut käsillä olevan työn puustoa vanhempaa ja kookkaampaa.

Oksaprosentti

Työssä tutkittiin rungon sisäistä oksaisuutta siten, että oksien osuus laskettiin kullakin korkeudella rungon poikkileikkauspinta-alasta. Taulukko 5 osoittaa, että oksaisuus oli pienimmillään rungon tyviosassa ja kohosi kohti latvaa. Yleensä oksaisuuden kohoaminen puun rungossa latvaa kohden tapahtunee varsin tasaisesti (Hakkila ja Panhelainen 1970, Hakkila ja Winter 1973).

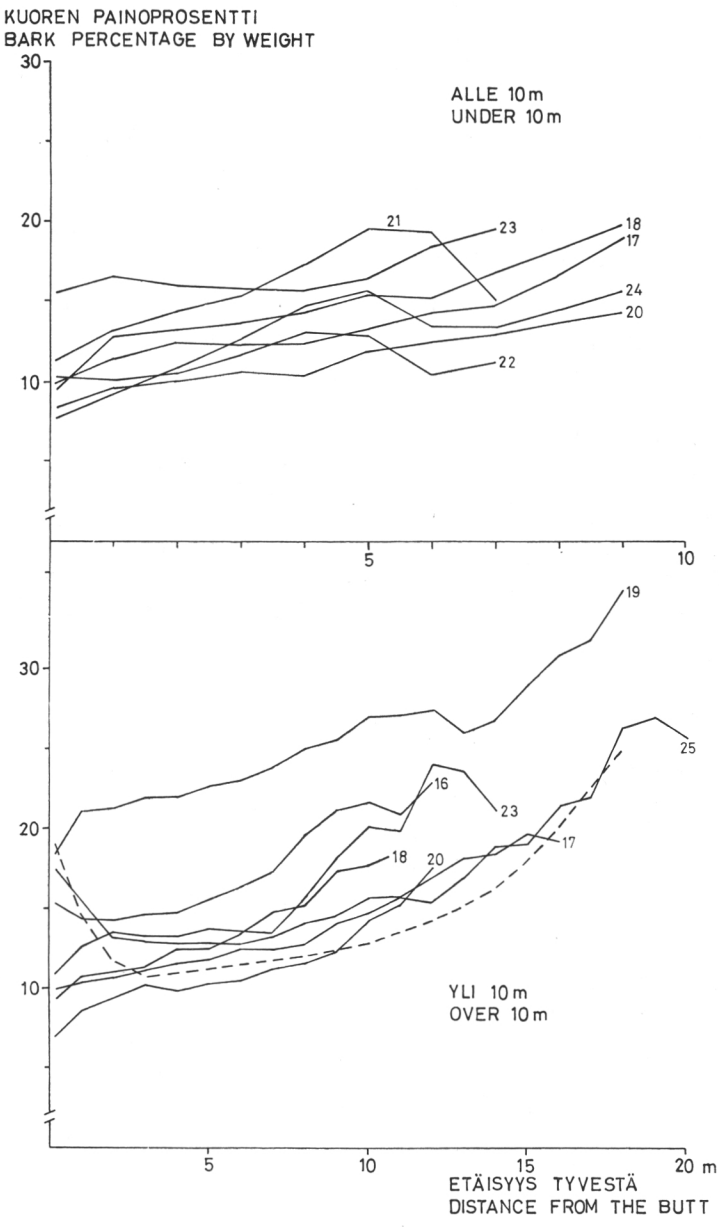
Taulukko 5. Lehti- ja havupuiden oksaprosentti.
Table 5. Knot percentage of the hardwoods and softwoods.

Korkeus, m — *Height, m*																	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Oksia, % — *Knots, %*																		
Lehtipuut alle 10 m — *Hardwoods under 10 m*																		
0,7	1,1	1,0	2,9	2,3	1,5	0,6	0,6	0,2										
Lehtipuut yli 10 m — *Hardwoods over 10 m*																		
0,4	1,0	0,7	1,8	1,3	1,3	1,8	1,9	1,4	1,5	1,7	1,4	1,7	0,9	2,5	1,6	1,1	0,7	2,2
Havupuut alle 10 m — *Softwoods under 10 m*																		
1,2	2,2	2,4	2,3	0,7	3,1	1,6	1,3	2,6	2,3									
Havupuut yli 10 m — *Softwoods over 10 m*																		
1,8	1,9	2,0	2,5	2,3	1,7	2,6	2,2	2,5	2,3	1,8	2,1	1,0	2,2	1,7	1,9	1,8	2,8	0,8



Kuva 8. Havupuiden kuoren painoprosentin vaihtelu rungon pituussuunnassa. Numerot viittaavat taulukon 1 puulajien numerointiin. - - - - - - Männyn (*Pinus sylvestris*) kuoren massaosuus ja - · - · - · - kuusen (*Picea abies*) kuoren massaosuus H a k k i l a n (1967 b) mukaan.

Fig. 8. Variation along the stem of the bark percentage by weight of the softwoods. The numbers refer to the numbering of the tree species in Table 1. - - - - - - Bark percentage by weight of pine (Pinus sylvestris) and that - · - · - · - of Norway spruce (Picea abies) according to H a k k i l a *(1967 b).*



Kuva 9. Lehtipuiden kuoren painoprosentin vaihtelu rungon pituussuunnassa. Numerot viittaavat taulukon 1 puulajien numerointiin. - - - - - - Koivun (*Betula pendula*) kuoren massaosuus H a k k i l a n (1967 b) mukaan.

Fig. 9. Variation along the stem of the bark percentage by weight of the hardwoods. The numbers refer to the numbering of the tree species in Table 1. - - - - - - *Bark percentage by weight of birch* (*Betula pendula*) *according to* H a k k i l a (*1967 b*).

Havupuiden ja lehtipuiden oksaprosenttien keskiarvot 2,2 ja 1,4 osoittavat, että viljelmillä kasvavat havupuut ovat oksaisempia kuin lehtipuut. Vastaavia tietoja meillä kasvavista puulajeista, edes kaupallisesti merkityksellisimmistäkään, ei ole juuri lainkaan saatavissa. L e h t o n e n ym. (1978) saivat tutkimuksissaan tervalepän ja raidan keskimääräisiksi oksapitoisuuksiksi 1,5 ja 1,4 prosenttiyksikköä, jotka hyvin vastaavat tässä työssä saatuja tuloksia.

Sydänpuuprosentti

Sydänpuuta todettiin kaikilla tutkituilla havupuilla ja useilla lehtipuillakin. Jälkimmäisillä sen erotettavuus joko värin tai kosteuserojen perusteella oli kuitenkin eräissä tapauksissa vaikeata.

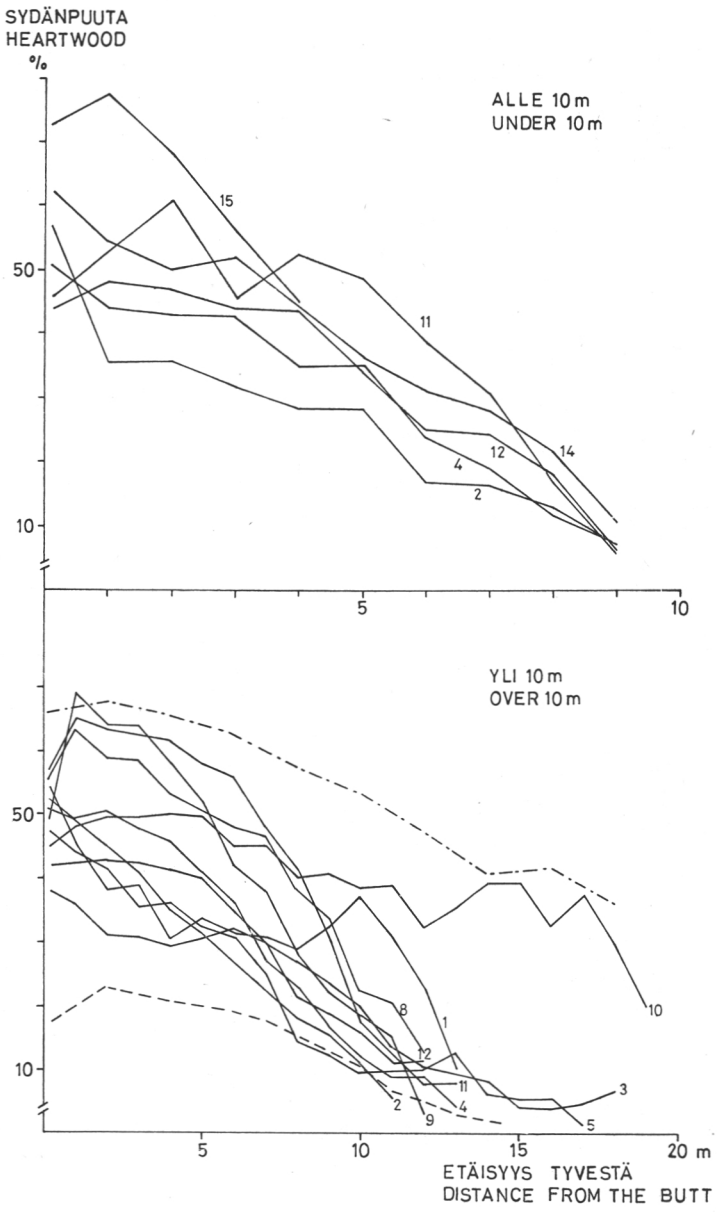
Sydänpuun suhteellinen osuus rungossa riippuu puun pituudesta, iästä ja tarkasteltavasta korkeudesta, sillä sydänpuun määrä laskee voimakkaasti tyvestä latvaa kohti (kuvat 10 ja 11). Useilla puulajeilla sydänpuuprosentti saavutti maksimiarvon kuitenkin vasta 1—5 m korkeudella tyvestä (noin 10—40 % puun pituudesta), jonka jälkeen se alkoi pienentyä.

Sydänpuun määrissä esiintyvistä suurista eroista johtuen (kuva 10, taulukko 4) voitiin erottaa selvästi korkean sydänpuun havupuulajeja (douglaskuusi, momijalokuusi ja kataja) ja lajeja joilla on alhainen sydänpuuprosentti (valkokuusi ja ajaninkuusi). Sydänpuun määrä riippuu iästä, mutta tässä tapauksessa iän vaikutus on pieni, koska eri puulajit olivat suunnilleen saman ikäisiä. Myös kasvunopeus vaikuttaa rungon sydänpuuosuuteen siten, että nopeakasvuisissa puuyksilöissä on pienempi sydänpuuosuus kuin hidaskasvuisissa etenkin jos tarkastellaan saman puulajin samanikäisiä yksilöitä.

Tämä ilmenee kuvasta 10, jossa esitetään myös kuusen sydänpuuprosentin vaihtelu T a m m i s e n (1964) mukaan sekä noin 50-vuotiaiden viljelymäntyjen sydänpuuosuus U u s v a a r a n (1974) mukaan. Nopeakasvuisten viljelymäntyjen sydänpuuprosentti jää kaikkia muita havupuita alhaisemmaksi. Jos tarkasteltaisiin tavallista luonnonmäntyä sen sydänpuuprosentti asettuisi suunnilleen kuvan 10 esittämien yli 10 m pitkien puiden sydänpuuprosenttikäyrästön keskivaiheille (T a m m i n e n 1962, H a k k i l a 1967 a).

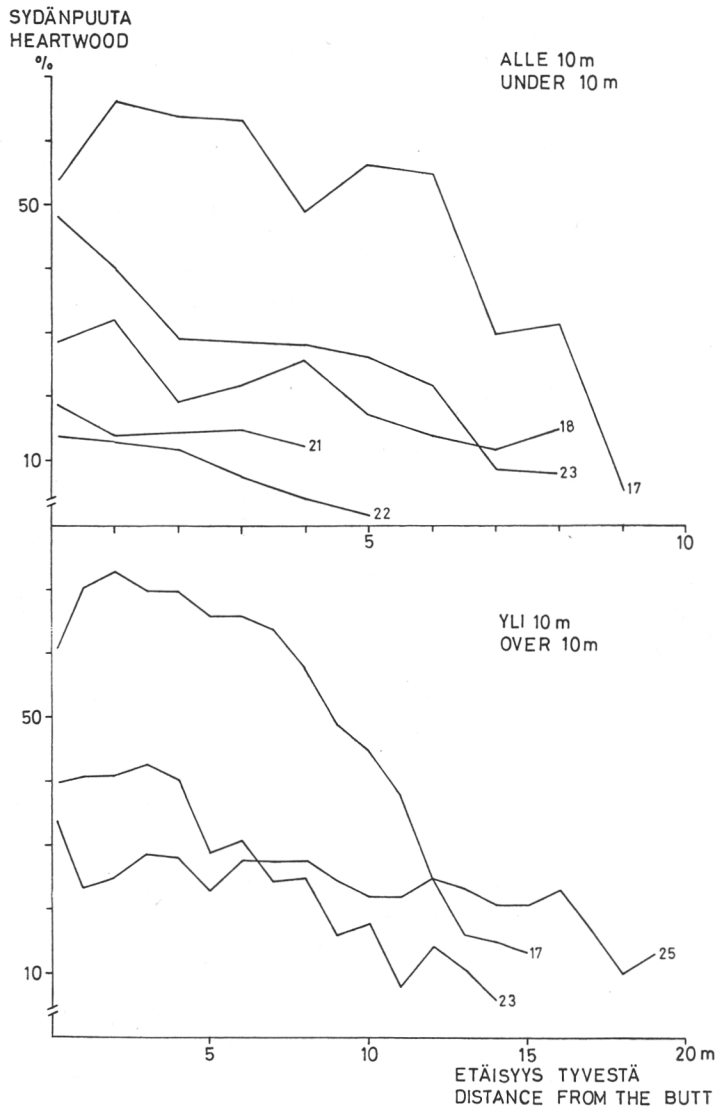
Myös lehtipuilla esiintyi suuria eroja sydänpuun määrissä, joskin pienimmän sydänpuuprosentin omaavat lajit, tuomi ja pihlaja, olivat myös iältään muita lajeja nuorempia.

Useilla lehtipuilla, esimerkiksi haavalla, lehmuksella ja vaahteralla sydänpuun tunnistaminen perustuu yksinomaan sydänpuun ja pintapuun kosteuseroihin, jotka usein ovat vaikeasti todettavissa (vrt. T r e n d e l e n b u r g ja M a y e r - W e g e l i n 1955). Eräillä lajeilla taas pinta- ja sydänpuun välillä ei ollut selvää kosteuseroa, mutta vyöhykkeet voitiin erottaa selvästi värin perusteella (tammi ja saarni). Amerikanhieskoivulla sydänpuun määrittäminen oli epävarmaa, vaikkakin kirjallisuudessa



Kuva 10. Havupuiden sydänpuuprosentin vaihtelu rungon pituussuunnassa. Numerot viittaavat taulukon 1 puulajien numerointiin. - - - - - - Viljelymäntyjen (*Pinus sylvestris*) sydänpuuprosentti Uusvaaran (1974) mukaan ja - · - · - · - kuusen (*Picea abies*) sydänpuuprosentti Tammisen (1964) mukaan.

Fig. 10. Variation along the stem of the heartwood content of the softwoods. The numbers refer to the numbering of the tree species in Table 1. - - - - - - *Heartwood content of plantation-grown pines (Pinus sylvestris) according to* Uusvaara *(1974) and* - · - · - · - *heartwood content of Norway spruce (Picea abies) according to* Tamminen *(1964).*



Kuva 11. Lehtipuiden sydänpuuprosentin vaihtelu rungon pituussuunnassa. Numerot viittaavat taulukon 1 puulajien numerointiin.

Fig. 11. Variation along the stem of the heartwood content of the hardwoods. The numbers refer to the numbering of the tree species in Table 1.

sen sydänpuualueen mainitaan erottuvan kohtalaisesti (Salmi 1977). Muilla tutkimukseen kuuluneilla lehtipuilla, joilla sydänpuuta esiintyi (esimerkiksi tuomella, halavalla ja pihlajalla), se erottui selvänä ruskeana tai ruskeankellertävänä vyöhykkeenä. Myös raidalla on todettu ruskeahko sydänpuuvyöhyke (vrt. Lehtonen ym. 1978).

Kuiva-tuoretiheys

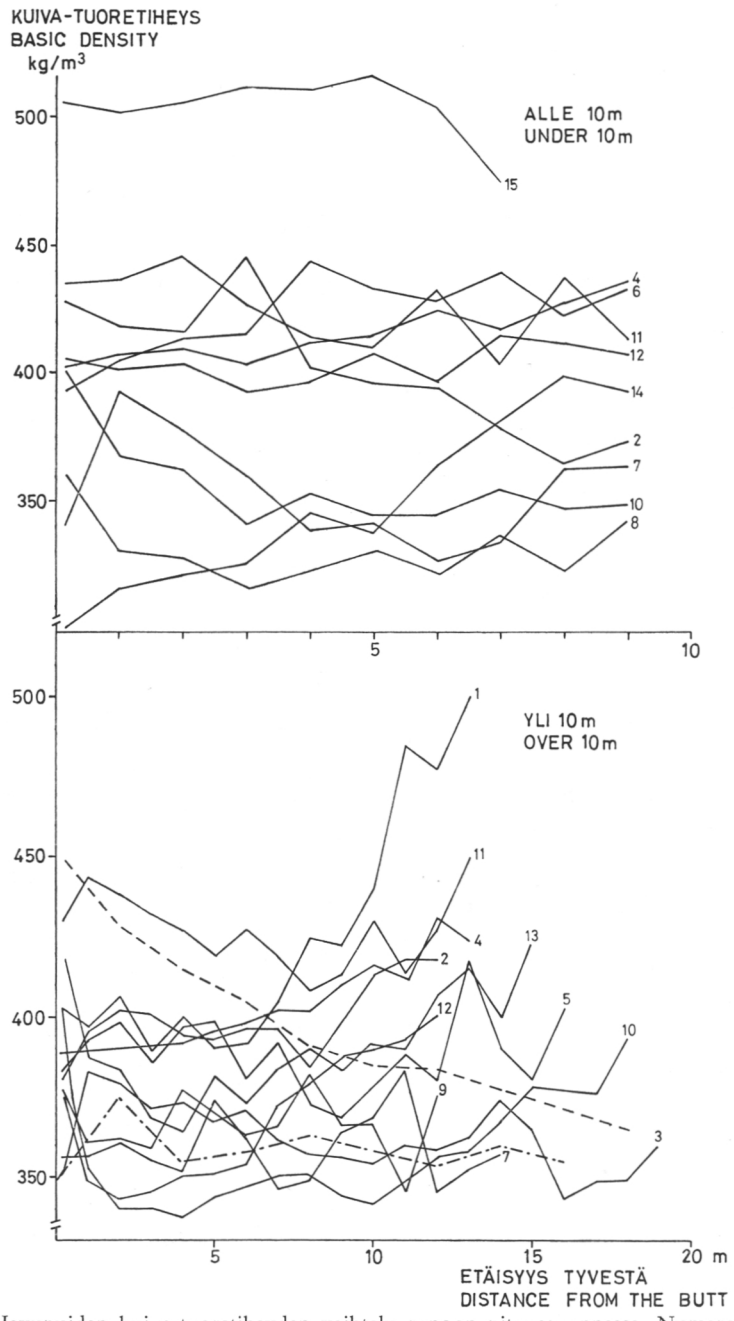
Runkojen kuiva-tuoretiheys puulajeittain on esitetty kuvissa 12—13. Havupuista muita selvästi korkeammaksi kohosi katajan kuiva-tuoretiheys, keskimäärin 508 kg/m³ (taulukko 4). Muihin havupuihin verrattuna kuiva-tuoretiheydeltään korkeita olivat myös douglaskuusi, mustakuusi ja sitkankuusi sekä alhaisia tuija, sahalininjalokuusi ja pihtakuusi.

Etenkin joillakin tiheydeltään alhaisilla havupuilla havaittiin tyvessä korkean kuiva-tuoretiheyden ensin laskevan muutaman metrin matkalla kannon korkeudelta ja kohoavan uudelleen latvaa kohti. Useimmilla puulajeilla kuiva-tuoretiheys kohosi latvaa kohti, eräillä jyrkästikin, joillakin se kuitenkin laski latvuksen yläosaan päin (esimerkiksi kataja). Tämä johtuu ainakin osittain puuaineksen sisältämien rungon sisäisten oksien kuiva-tuoretiheyttä nostavasta vaikutuksesta, sillä useimmilla puulajeilla oksien paino on oksattoman runkopuun painoa korkeampi (kuva 14). Oksaisten kiekkojen kuiva-tuoretiheys oli havupuilla keskimäärin 26 kg/m³ eli 6,4 prosenttiyksikköä oksattomia näytteitä korkeampi. Oksaisen puuaineen tiheys oli kuusilla keskimäärin 6,4 %, jalokuusilla 4,8 % sekä mäntylajeilla 13,6 ja 12,0 % suurempi kuin oksattoman puuaineen kuiva-tuoretiheys. Männyllä suuri erotus johtuu ainakin osittain virheettömän puuaineen erityisen alhaisesta tiheydestä.

Kuvassa 12 on esitetty myös noin 50-vuotiaiden viljelymäntyrunkojen (Uusvaara 1974) ja viljelykuusien (Hakkila ja Uusvaara 1967) puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu rungon pituussuunnassa. Kuvaajien suunta oli puun latvaa kohti laskeva, sillä näytteet käsittävät vain virheetöntä puuainetta. Luonnonmäntyä ja -kuusta koskevat kuiva-tuoretiheydet olivat jonkin verran viljeltyjen runkojen tiheyksiä korkeammat (Hakkila 1966).

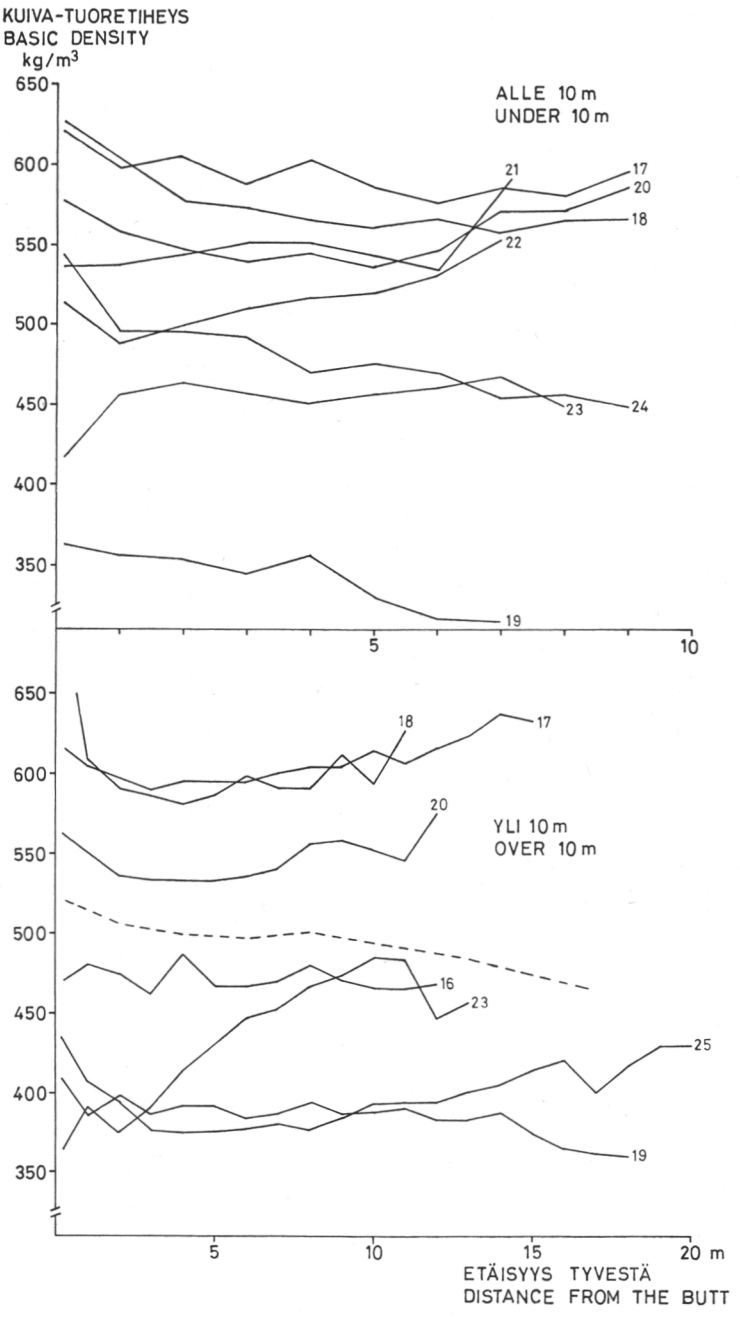
Myös useimmilla lehtipuilla rungon puuaineen kuiva-tuoretiheys nousi latvaa kohti ainakin rungon yläosassa (kuva 13). Erot puulajien välillä olivat suuremmat kuin havupuilla. Alle 10 m pitkien puiden kuiva-tuoretiheys oli alhaisempi kuin pitemmillä rungoilla, mikä johtuu pääasiassa iästä. Vertailuna esitetyn suomalaisen rauduskoivun kuiva-tuoretiheyttä kuvaava käyrä näytti asettuvan suunnilleen eri puulajien tiheyskäyrien puoliväliin (Hakkila 1966).

Oksaisten kiekkojen kuiva-tuoretiheys oli lehtipuilla keskimäärin 14 kg/m³ eli 2,7 % oksattomia näytteitä korkeampi. Lehtosen ym. (1978) tutkimuksessa oksaisuus kohotti tervalepän ja raidan puuaineen kuiva-tuoretiheyttä 5 ja 3 %.



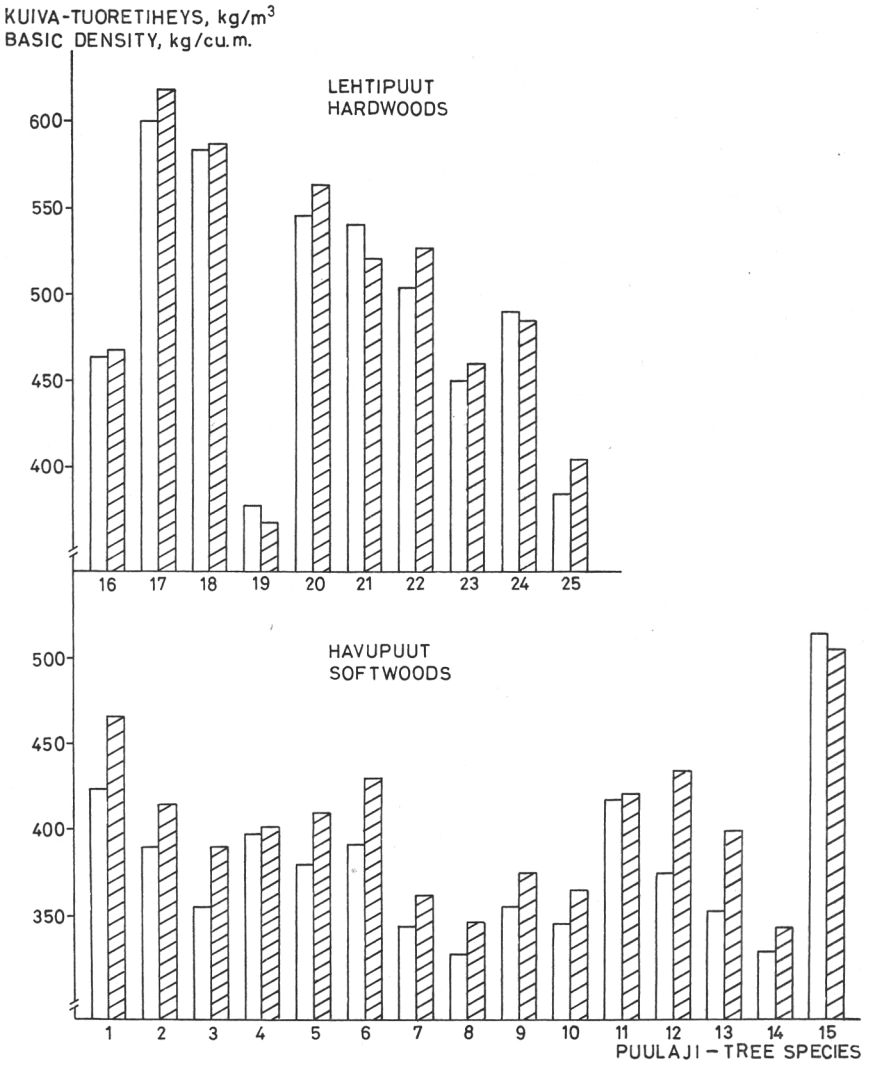
Kuva 12. Havupuiden kuiva-tuoretiheyden vaihtelu rungon pituussuunnassa. Numerot viittaavat taulukon 1 puulajien numerointiin. - - - - - Viljelymäntyjen (*Pinus sylvestris*) kuiva-tuoretiheys Uusvaaran (1974) mukaan ja - · - · - · - viljelykuusen (*Picea abies*) kuiva-tuoretiheys Hakkilan ja Uusvaaran (1967) mukaan.

Fig. 12. Variation along the stem of the basic density of the softwoods. The numbers refer to the numbering of the tree species in Table 1. - - - - - - *Basic density of plantation-grown pines (Pinus sylvestris) according to* Uusvaara *(1974) and* - · - · - · - *basic density of plantation-grown Norway spruces (Picea abies) according to* Hakkila *and* Uusvaara *(1967).*



Kuva 13. Lehtipuiden kuiva-tuoretiheyden vaihtelu rungon pituussuunnassa. Numerot viittaavat taulukon 1 puulajien numerointiin. - - - - - - Koivun (*Betula pendula*) kuiva-tuoretiheys Hakkilan (1966) mukaan.

Fig. 13. Variation along the stem of the basic density of the hardwoods. The numbers refer to the numbering of the tree species in Table 1. - - - - - - *Basic density of birch* (*Betula pendula*) *according to* Hakkila (*1966*).



Kuva 14. Oksien vaikutus eri puulajien puuaineen kuiva-tuoretiheyteen. Viivoittamaton alue = oksaton, terve puuaine, viivoitettu alue = oksainen puuaine. Numerot viittaavat taulukon 1 puulajien numerointiin.

Fig. 14. The effect of knots on the basic density of the tree species. Unshaded area = knotless, sound wood, shaded area = knotty wood. The numbers refer to the numbering of the tree species in Table 1.

33. Puuaineen massatekniset ominaisuudet

Eri puulajien massateknisiä ominaisuuksia on esitetty havupuiden osalta taulukossa 6 ja lehtipuiden osalta taulukossa 7.

Havupuiden ligniinipitoisuudet (25,8 — 31,2 %) eivät oleellisesti poikenneet suomalaisen männyn ja kuusen vastaavista arvoista. Kuidunpituudet olivat sen sijaan keskimäärin alhaisemmat, katajilla ainoastaan 1,41 mm, mutta valkokuusella ja pihtakuusella puolestaan jo suomalaisten havupuiden luokkaa.

Saanto sulfaattikeitossa vaihteli huomattavasti puulajista riippuen. Suurimmalla osalla se sijoittuu eteläsuomalaisen männyn ja kuusen vastaavien arvojen väliin. Valkokuusi antoi parhaan saannon (K 35) 52,5 %, joka on selvästi parempi kuin suomalaisella kuusella. Samoin ajaninkuusi ja omorikakuusi antoivat paremman saannon kuin kuusi. Katajalla puolestaan se oli selvästi alhaisempi kuin männyllä.

Lujinta massaa vetolujuusindeksin (B_1) ja repäisylujuusindeksin (T) antaman lujuustulon B_1T avulla arvostellen saatiin pihtakuusesta (B_1T = 1 540), kun taas katajan ja kanadantuijan massat (B_1T 617 ja 954) olivat selvästi kuusen ja männyn massaa heikompia.

Tutkittujen lehtipuulajien ligniinipitoisuudet (20,7—27,9 %) olivat keskimäärin korkeammat ja kuidunpituudet alhaisemmat kuin suomalaisella koivulla. Ainoastaan haapa on näiden ominaisuuksiensa puolesta verrattavissa koivuun.

Myös lehtipuiden sulfaattikeittosaannoissa oli suuria lajikohtaisia vaihteluita: pihlajalla ja saarnella se oli muita selvästi alhaisempi ja halavalla, vaahteralla ja haavalla eteläsuomalaisen koivun suuruusluokkaa tai jopa korkeampi.

Lujuudeltaan pääosa lehtipuumassoista oli hiukan koivua heikompaa. Saarni (B_1T = 338) ja tuomi (B_1T = 466) olivat selvästi huonoimmat ja tammi (B_1T = 683) ja halava (B_1T = 719) hyvän koivumassan tasoa.

Taulukko 6. Havupuiden massateknisiä ominaisuuksia.
Table 6. Technical properties of the softwood pulps.

Puulaji *Species*		Puulaji, n:o *Species, number*	[1] Ligniini, % Lignin, %	Keskim. kuidun pituus, mm *Average fiber length, mm*	Alkaliannos (Na_2O), % *Alkali* (Na_2O), %	Kappa *Kappa-number*	Saanto, % *Yield, %*	[2] Saanto K 35:ssa, % *Yield in K 35, %*	Lujuustulo B_1T, 30SR *Beating product, B_1T, 30SR*
Sitkankuusi	*Picea sitchensis*	1	27,9	2,28	16	37,9	49,5	49,0	1 411
Ajaninkuusi	*Picea jezoensis*	2	26,9	2,53	16	33,7	51,9	52,1	1 378
Valkokuusi	*Picea glauca*	3	25,8	2,74	16	34,0	52,3	52,5	1 441
Omorikakuusi	*Picea omorika*	4	26,3	2,18	16	32,8	50,5	50,9	1 240
Engelmanninkuusi	*Picea engelmannii* ..	5	28,8	1,96	16	46,3	47,5	45,6	1 254
Mustakuusi	*Picea mariana*	6	26,6	2,15	16	42,4	49,5	46,1*	1 054
Sahalininjalokuusi	*Abies sachalinensis* .	8	30,2	2 09	16	39,1	48,6	47,9	1 299
Momijalokuusi	*Abies holophylla* ...	9	31,2	2,30	16	47,5	49,9	47,8	1 249
Pihtakuusi	*Abies sibirica*	10	28,7	2,93	16	42,3	49,6	48,4	1 540
Douglaskuusi	*Pseudotsuga menziesii*	11	29,4	2,42	16	44,8	49,8	47,9	1 488
Sembramänry	*Pinus cembra*	12	26,0	1,93	16	37,8	47,3	46,8	1 254
Peukemänty	*Pinus peuce*	13	26,0	1,86	16	42,2	49,7	48,5	1 035
Kanadantuija	*Thuja occidentalis* ..	14	29,5	2,11	18	45,1	47,9	46,3	954
Kataja	*Juniperus communis* .	15	29,9	1,41	20	37,3	44,6	44,2	617
Kuusi	*Picea abies*		27-29[3]	2,6-3,4[3]				n. 50[4]	n. 1 400 [4]
Mänty	*Pinus sylvestris*		27-28[3]	2,8-3,1[3]				» 47[5]	» 1 200 [5]

* kahden keiton keskiarvo — *mean of two cookings*
[1] Klason-ligniini + happoon liukeneva ligniini — *Klason-lignin + lignin soluble into the acid*
[2] ekstrapolointi 1 kappa-yksikkö △ 0,17 % saannossa — *extrapolation one kappa-unit in △ 0,17 per cent yield.*
K = kappaluku — *kappa number*
[3] Aaltio (1968)
[4] Virkola, Vartiainen & Järvelä (1963)
[5] Makkonen (1967a)

Taulukko 7. Lehtipuiden massateknisiä ominaisuuksia.
Table 7. Technical properties of the hardwood pulps.

Puulaji *Species*		Puulaji, n:o *Species, number*	[1] Ligniini, % *Lignin, %*	Keskim. kuidun pituus, mm *Average fiber length, mm*	Alkaliannos (Na_2O), % *Alkali* (Na_2O), %	Kappa *Kappa-number*	Saanto, % *Yield, %*	[2] Saanto K 20:ssa, % *Yield in K 20, %*	Lujuustulo B_1T, 30SR *Beating product, B_1T, 30SR*
Amerikanhieskoivu	*Betula papyrifera* ..	16	23,1	0,93	18	22,6	52,2	51,8	588
Tammi	*Quercus robur*	17	26,9	1,07	16	20,7	50,6	50,5	683
Saarni	*Fraxinus excelsior* ..	18	27,9	0,87	16	18,4	46,6	46,9	338
Lehmus	*Tilia cordata*	19	22,4	0,89	16	20,6	52,0	51,9	520
Vaahtera	*Acer platanoides* ...	20	25,9	0,60	14	21,9	56,5	55,7*	601
Pihlaja	*Sorbus aucuparia* ..	21	23,9	0,90	16	18,7	45,5	45,7	523
Tuomi	*Prunus padus*	22	21,0	0,61	16	19,5	53,7	53,8	466
Halava	*Salix pentandra* ...	23	23,4	0,85	16	18,1	53,9	54,2	719
Pähkinäpensas	*Corylus avellana* ...	24	23,7	0,75	16	28,2	53,2	51,5*	539
Haapa	*Populus tremula* ...	25	20,7	0,94	16	17,9	56,1	56,5	559
Haapa	*Populus tremula* ...	25	21,5	1,08	16	14,3	56,8	57,8	—
Haapa	*Populus tremula* ...	25	—	—	16	17,5	55,3	55,7	598
Koivu	*Betula* spp.....		20-22[3]	n. 1,0[3]				53-55[4]	600-700 [4]

* kahden keiton keskiarvo — *mean of two cookings*
[1] Klason-ligniini + happoon liukeneva ligniini — *Klason-lignin + lignin soluble into the acid*
[2] ekstrapolointi 1 kappa-yksikkö △ 0,17 % saannossa — *extrapolation one kappa-unit in △ 0,17 per cent yield*
[3] Aaltio (1968)
[4] Makkonen (1967b)

4. TULOSTEN TARKASTELU

Kun työtä suunniteltiin ja aloitettiin oli jo tiedossa, että tutkimuksessa yhtä puulajia kohti kerättävä aineisto tulee jäämään osittain niukaksi. Työn luonteesta johtuen ulkomaisten puulajien tutkimusmateriaalin keruu oli kohdistettava pelkästään valtion metsiin, joissa kokeilutoiminnan laajuudesta huolimatta useimpia puulajeja on viljelty vain harvoissa ja pienialaisissa kohteissa. Samantapaiset rajoitukset koskevat myös vähäarvoisempia kotimaisia lehtipuulajeja. Vaikka eräät puulajit esiintyvätkin sinänsä verrattain yleisinä metsissämme keskimäärin, niiden löytäminen etenkin metsiköitä muodostavina tuottaa vaikeuksia jo pitkään metsänhoidollisesti ja tehokkaasti käsitellyissä valtion metsissä. Useimpien ulkomaisten puulajien puistomaisissa metsiköissä oli puita kaadettaessa kiinnitettävä lisäksi erityistä huomiota maisemallisiin ja metsänhoidollisiin näkökohtiin.

Edellä mainituista syistä kaadettavia koepuita ei aina voitu valita oikeassa suhteessa esiintyviin latvuskerroksiin ja metsikön runkojen läpimittaluokkiin. Vaikkakin monien puun ominaisuuksien runkojen välinen vaihtelu etenkin hoidetuissa viljelymetsiköissä on vähäinen, mainittu seikka on jossakin määrin voinut vaikuttaa eräisiin puuteknisiin ominaisuuksiin. Aineiston määrä asetti rajoituksia myös tilastollisten muuttujien ja eri tekijöiden riippuvuussuhteiden tarkastelulle.

Koska ulkomaiset puulajit alkuperämaissaan kasvavat eri olosuhteissa, tuloksia ei voida yleistää kyseisiä puulajeja koskeviksi, mutta ne antavat kuitenkin kuvan meillä kasvatettujen metsiköiden puun laadusta. Kotimaisia puulajeja koskeva aineisto on myös suppea edustamaan kyseisiä puustoja laajemmissa puitteissa. Vertailuja voidaan kuitenkin tehdä eri puulajien ja muiden meillä esiintyvien taloudellisesti merkityksellisten puulajien kesken.

Käsillä oleva työ kohdistuu alueeseen, jota koskevia tutkimuksia on oloissamme tehty vain niukasti tai ei ollenkaan. Useimpia ulkomaisia puulajeja on tähän asti tutkittu lähinnä niiden menestymisen ja tuoton sekä kasviekologian ja tuhojen kannalta. Lehtikuusesta ja kontortamännystä on kuitenkin tehty myös puutieteellisiä tutkimuksia (Hakkila ja Panhelainen 1970, Hakkila ja Winter 1973, Salmi 1977). Sekä kotimaisista että ulkomaisista puulajeista ja niiden puuaineen laadusta käytön kannalta on kerännyt kirjallisuuteen perustuvia tietoja Salmi (1972, 1977 ja 1978). Haapametsiköiden rakennetta ja kasvavien haapojen laatua on selvitellyt Tikka (1954, 1955) ja haapatukkien ominaisuuksia ja teknistä laatua Kärkkäinen (1978 ja 1979) sekä Kärkkäinen ja Salmi (1978). Hak-

kila (1970) on selvitellyt harmaalepän sekä Lehtonen ym. (1978) tervalepän ja raidan ominaisuuksia teollisen käytön kannalta.

Edellä mainituista puulajeista on suoritettu myös massan saantoa ja laatua koskevia kokeita (mm. Alestalo ja Hentola 1967, Lönnberg ym. 1968, Salin ja Palenius 1970, Saukkonen 1971).

Eri havu- ja lehtipuulajit eroavat toisistaan teknisiltä ominaisuuksiltaan monessa suhteessa. Tästä aiheutuu vaikeuksia kun puuta käytetään johonkin teolliseen tarkoitukseen, ellei tietyn lajin erikoisominaisuuksia tunneta. Lisäksi saman lajin sisällä esiintyy laatueroja kasvu- ym. olosuhteista riippuen.

Kun tarkastellaan saman puulajin runkojen välistä kosteuden vaihtelua, havupuilla näyttää ikä olevan merkittävin selittävä tekijä. Tämä liittyy lähinnä sydänpuuhun, jota muodostuu runkoihin vasta vanhemmalla iällä. Lehtipuilla ikä ei ilmeisesti vaikuta yhtä paljon, mutta kun useilla lehtipuilla kuiva-tuoretiheys kasvaa iän lisääntyessä, sen vaikutus on samansuuntainen kuin havupuilla (Kärkkäinen 1977). Osa runkojen välisestä kosteuden vaihtelusta voidaan selittää myös kasvupaikan sekä perinnöllisten ominaisuuksien perusteella. Lehtipuilla kosteussuhde vaihtelee kasvukauden aikana siten, että se on korkeimmillaan ennen lehtien puhkeamista ja laskee haihdutustoiminnan alettua (Hakkila 1970). Tässä työssä valtaosa aineistoa kerättiin kesäaikana puiden kasvun ollessa käynnissä.

Käytännössä puutavaran sisältämän kuoren määrä ilmoitetaan joko tilavuus- tai painoprosentteina. Niiden suhde vaihtelee puulajeittain ja kasvuoloista riippuen. Suomalaisista puulajeista painoprosentti on ollut männyllä ja kuusella 2,7 ja 0,4 prosenttiyksikköä pienempi sekä koivulla 0,5 prosenttiyksikköä suurempi kuin kuoren tilavuusprosentti (Hakkila 1967 b).

Useimmilla havupuulajeilla, esimerkiksi douglaskuusella ja ajaninkuusella, mutta lehtipuista vain tammella, todettiin voimakas kuoren keskittyminen puun tyviosaan. Tavallisella männyllä, kuusella ja koivulla rungon kuoriprosentin muutokset puun tyviosassa ovat hyvin samankaltaisia (Hakkila 1967). Seuraavassa esitetään eräiden Suomessa tutkittujen puulajien kuoriprosentteja. Mainittakoon että kuoriprosentin suuruus riippuu rungon koosta siten, että läpimitan kasvaessa kuoriprosentti laskee. Tämän tekijän vaikutusta ei vertailussa kuitenkaan kaikilta osin ole voitu ottaa huomioon.

Puulaji	Kuorta kuivamassasta, %	Lähde
Mänty	9,2	Hakkila 1967 b
Kuusi	11,2	»
Lehtikuusi	14,0	Hakkila ja Winter 1973
Kontortamänty	9,5	Hakkila ja Panhelainen 1970
Koivu	14,4	Hakkila 1967 b
Harmaaleppä	13,0	Hakkila 1970
Tervaleppä	16,4	Lehtonen ym. 1978
Raita	15,6	»
Haapa	13,8	Kärkkäinen 1979
Hybridihaapa	13,9	»

Rungon järeässä alaosassa puuaineksen sisältämien oksien suhteellinen osuus on pienempi kuin latvuksen alueella. Nylinderin (1959) mukaan oksapuun suhteellinen osuus rungon tilavuudesta on kuusella ja männyllä suurimmillaan 80—90 %:n suhteellisella korkeudella. Tästä johtuen eri puutavaralajien oksaisuus on erilainen, ja oksaisimmat rungonosat jäävät yleensä sahapuurungossa tukkipuuosuuden ulkopuolelle. Lehtosen (1978) mukaan oksien tilavuusosuus männyn ja kuusen vihreän latvuksen alueella oli 2,0 ja 1,2 prosenttiyksikköä. Oheisesta asetelmasta nähdään puulajien tilavuudesta laskettuja oksaprosentteja.

Puulaji	Oksia, %	Lähde
Mänty	0,7	Nylinder 1959
Kuusi	0,7	»
Lehtikuusi	1,1	Hakkila ja Winter 1973
Kontortamänty	1,0	» ja Panhelainen 1970
Tervaleppä	1,5	Lehtonen ym. 1978
Raita	1,4	»
Haapa	1,3	Kärkkäinen 1979

Puulajien välillä näytti olevan huomattavia oksaisuuseroja, mutta havupuut olivat keskimäärin lehtipuita oksaisempia. Vertailua tehtäessä on otettava lisäksi huomioon iän oksaisuutta vähentävä vaikutus. Tässä tutkimuksessa useimmat lehtipuut olivat havupuita nuorempia.

Tärkein sydänpuuosuutta samalla puulajilla lisäävä tekijä on ikä, jonka lisäksi sydänpuuosuus lisääntyy puun läpimitan kasvaessa ja luston leveyden pintapuussa pienentyessä eli kasvunopeuden hidastuesssa (Nylinder 1961). Käsillä olevan työn tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että kaikki ulkomaisten puulajien viljelmät sekä kotimaiset puulajit olivat iältään nuoria. Viljelykokeet oli myös perustettu erittäin hyville kasvupaikoille, useimmissa tapauksissa käenkaali-mustikkatyypin maapohjalle, jonka vuoksi puiden kasvunopeus oli lähes jokaisessa metsikössä suurempi kuin kyseisillä puulajeilla keskimäärin.

Voidaankin olettaa, että eri kuusilajien sydänpuuprosentti jäi osittain juuri näistä syistä tavallisen kuusen sydänpuuosuutta alhaisemmaksi. Sembramännyn sydänpuuprosentti sen sijaan oli korkeampi kuin tavallisella mutta viljelmillä kasvaneella männyllä. Toisaalta sydänpuuosuutta nostavasti on useilla viljellyillä puulajeilla voinut vaikuttaa se, että pääosa tutkituista rungoista on kuulunut vallittuihin puulajeihin (esimerkiksi Lappi-Seppälä 1952).

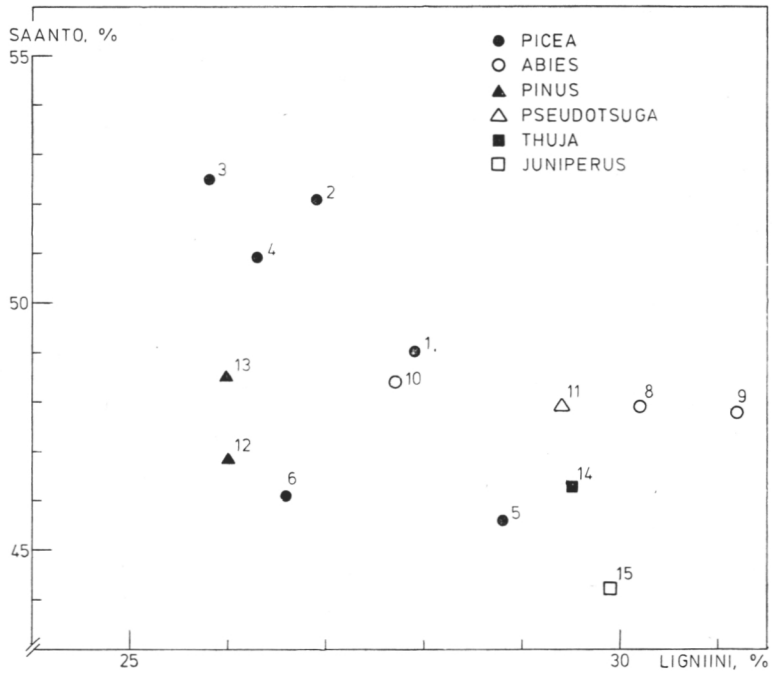
Katajalla ja tuijalla esiintyi osassa koepuita lahoa. Tämä on jossakin määrin voinut vaikeuttaa sydänpuun määritystä erityisesti tuijalla, jossa lahon ja sydänpuun värit olivat samankaltaiset. Seuraavassa esitetään eräiden kotimaisten ja meillä viljeltyjen puulajien keskimääräisiä sydänpuuprosentteja.

Puulaji	Sydänpuuta, %	Lähde
Mänty	30	Hakkila 1967 a
Kuusi	60	Tamminen 1964
Lehtikuusi	48	Hakkila ja Winter 1973
Kontortamänty	18	» ja Panhelainen 1970
Raita	27	Lehtonen ym. 1978

Kuiva-tuoretiheydessä ilmeni erittäin suuria eroja — useita satoja kilogrammoja kuutiometriä kohti — eri puulajien välillä. Saman lehtipuulajin pienikokoisimmat yksilöt olivat pääasiassa iästä johtuen keskimäärin kuiva-tuoretiheydeltään alhaisempia kuin isokokoiset rungot. Havupuilla esiintyi rungon pituussuunnassa, ilmeisesti oksien vaikutuksesta, paljon suurempia tiheysvaihteluita kuin lehtipuilla. Havupuilla on oksien puuaine nimittäin huomattavasti runkopuun puuainetta tiheämpää, esimerkiksi Lehtosen (1978) mukaan sisäoksien ja runkopuun välillä tiheysero on männyllä noin 350 ja kuusella 490 kg/m³. Oksat vaikuttavat kuitenkin myös niitä ympäröivän puuaineen tiheyteen siten, että vuosikasvaimen alueella oksattoman puuaineen tiheys on suurin juuri oksakiehkuran tai oksaryhmän ylä- ja alapuolella (Lehtonen 1978). Koska kuusella oksien puuaine on huomattavasti oksatonta puuta tiheämpää voidaan olettaa, että tällä puulajilla oksien vaikutus ympäröivän puuaineen tiheyteen on esimerkiksi mäntyä voimakkaampaa. Seuraavasta asetelmasta ilmenee mm., että tärkeimpien meillä viljeltyjen ulkomaisten puulajien kuiva-tuoretiheydet ovat kotimaisia havupuulajeja korkeammat. Tiheyslukuja tarkasteltaessa on kuitenkin otettava huomioon iän vaikutus, sillä useimmilla puulajeilla tiheys yleensä lisääntyy ytimestä pintaa kohti ja näin ollen myös puun iän kasvaessa. Iän vaikutus saattaa liittyä myös sydänpuun muodostumiseen, sillä sydänpuuhun keräytyy sen muodostuessa aineita, jotka voivat nostaa uuttamattoman puun tiheyttä (Kärkkäinen 1977). Tässä tutkimuksessa eri puulajien ikäerot eivät yleensä olleet suuria, mutta esimerkiksi katajan ikä oli yli 100 vuotta (taulukko 2). Toisaalta tutkituista puulajeista vanhimpiin kuuluvan pihtakuusen tiheys oli havupuista alhaisimpia (kuva 12).

Puulaji	Kuiva-tuore-tiheys, kg/m³	Lähde
Mänty	409	Hakkila 1966
Kuusi	387	»
Siperianlehtikuusi	492	Hakkila ja Winter 1973
Kontortamänty	433	» ja Panhelainen 1970
Rauduskoivu	497	Hakkila 1966
Hieskoivu	482	»
Harmaaleppä	361	Hakkila 1970
Tervaleppä	415	Lehtonen ym. 1978
Raita	480	»
Haapa	397	Kärkkäinen 1979
Hybridihaapa	279	»

Männyn, kuusen ja koivun tiheydet ovat maan eteläpuoliskon luonnonmetsistä saatuja keskiarvoja. Viljelymännylle ja kuuselle saadut kuiva-tuoretiheysarvot 395 ja 352 kg/m³ ja niiden alhaiset keskihajonnat 28 ja 14 kg/m³ osoittavat, että viljelmien optimikasvuoloissa puuaineen kuiva-tuoretiheys on alhaisempi ja puun ja puuaineen laatu tasaisempi kuin metsissä keskimäärin (Hakkila ja Uusvaara 1968, Uusvaara 1974). Luonnonmetsissä männyn, kuusen ja koivun kuiva-tuoretiheyksien keskihajonnat olivat 33, 30 ja 31 kg/m³ (Hakkila 1966).



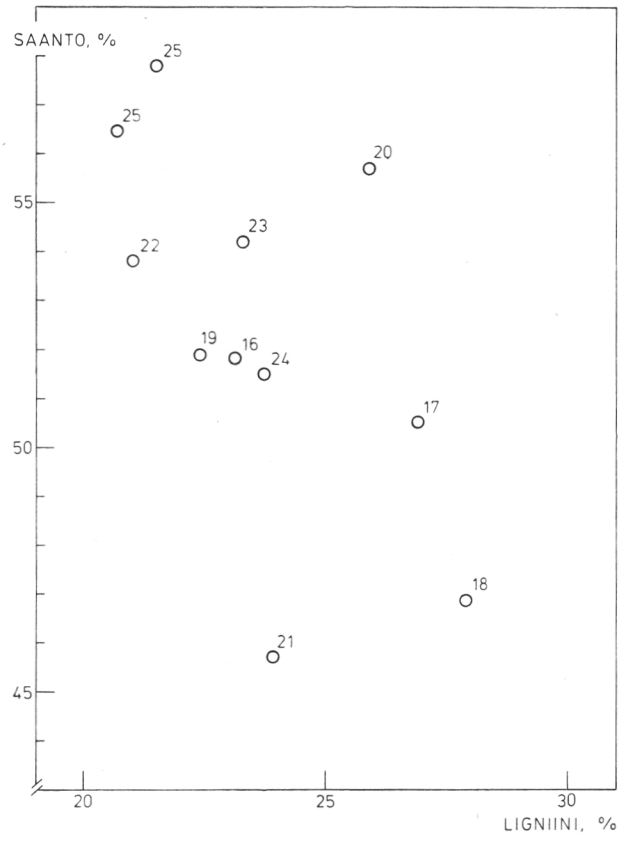
Kuva 15. Massan saanto (k 35) puun ligniinipitoisuuden funktiona, havupuut (numerointi kuten taulukossa 1).

Fig. 15. Pulp yield (k 35) as a function of the lignin content of wood, softwoods (numbering as in Table 1).

Tiheyden kasvaminen merkitsee käytännössä mm. sitä, että tilavuusyksiköstä saadaan enemmän puuainetta, ja esimerkiksi massateollisuudessa tiettyä puulajia voidaan käyttää sitä tehokkaammin mitä tiheämpää se on. Myös puun lujuusominaisuuksiin ja siten sen käyttökelpoisuuteen esimerkiksi rakennusmateriaalina on tiheyden vaikutus niin selvä, että ennestään tuntemattoman puulajin lujuusominaisuudet voidaan ennustaa varsin hyvin pelkän tiheyden avulla.

Kun tiheyden lisäksi ulkonäölliset sekä mm. työstettävyyteen ja muotonsa säilyttävyyteen liittyvät ominaisuudet otetaan huomioon, tarjoaisivat ilmeisesti useat tähän asti vailla käyttöä olevat puulajit käyttömahdollisuuksia rakennuksissa mm. lattia- ja seinämateriaaleina.

Tutkituista havupuista katajassa ja tuijassa esiintyi, kuten jo edellä mainittiin lahoa, joka ensin mainitussa puulajissa oli osittain pehmeätä. Laho alensi kummankin puulajin kuiva-tuoretiheysarvoja, jotka olivat terveissä ja lahovikaisissa näytteissä katajalla 514 ja 464 kg/m³ sekä tuijalla 331 ja 308 kg/m³. Myös eräät lehtipuut sisälsivät lahoa. Niissä sen vaikutus jäi kuitenkin merkityksettömäksi halavaa lukuunottamatta, jossa virheettömien ja lahoisten kiekkojen kuiva-tuoretiheydet olivat



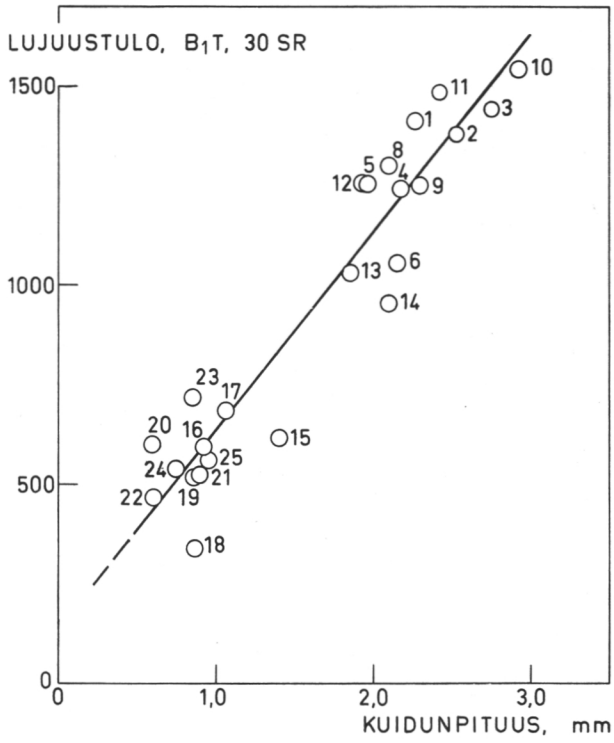
Kuva 16. Massan saanto (k 20) puun ligniinipitoisuuden funktiona, lehtipuut (numerointi kuten taulukossa 1).

Fig. 16. Pulp yield (k 20) as a function of the lignin content of wood, hardwoods (numbering as in Table 1).

449 ja 419 kg/m³. Lehtipuiden alhainen ligniinipitoisuus havupuihin verrattuna ilmenee korkeampana saantona keitossa. Korrelaatio ligniinipitoisuuden ja saannon välillä on selvästi havaittavissa kuvissa 15 ja 16. Yhteys korostuu kun verrataan vain lähisukuisia havupuulajeja keskenään (kuva 15), jolloin eri puulajien sisältämän ligniinin rakenteellisten erojen merkitys keittymiseen pienenee.

Tärkeimpiin massan lujuusominaisuuksiin vaikuttaviin tekijöihin kuuluu kuidunpituus. Kuten kuvasta 17 voidaan havaita, ilmenivät lehtipuiden lyhyemmät kuidunpituudet myös havupuihin verrattuna alhaisina massojen lujuusarvoina. Tilastollisesti saadaan riippuvuudelle yhtälö:

$$B_1T = 500 \times \text{kuidunpituus} + 132, \text{ korrelaatiokerroin } 0{,}952.$$



Kuva 17. Massan lujuustulo (B_1T, 30SR) puun kuidunpituuden funktiona (numerointi kuten taulukossa 1). $B_1T = 500 \times$ kuidunpituus + 132, Korrelaatiokerroin 0,952.

Fig. 17. Beating product of pulp (B_1T, 30SR) as a function of the wood fibre length (numbering as in Table 1). $B_1T = 500 \times$ fibre length + 132. Coefficient of correlation 0,952.

Yleisesti voidaan lähes kaikkia tutkittuja havupuulajeja pitää massateknisiltä ominaisuuksiltaan kuusen ja männyn veroisina. Selvästi huonompina voidaan pitää ainoastaan katajaa ja kanadantuijaa. Lehtipuut sen sijaan ovat massateknisesti koivua huonompia lähes poikkeuksetta, ainoastaan halavaa, vaahteraa ja haapaa voidaan pitää lähes koivun veroisina. Meillä kasvatettuja havupuulajeja voidaan siten sekoittaa kotimaisten puulajien joukkoon ilman että massan laatu heikkenee. Lehtipuiden osalta tulokset ovat saman suuntaiset kuin aiemmin tervalepästä ja raidasta saadut massatekniset ominaisuudet (L e h t o n e n ym. 1978).

Pienemmästä massan saannosta ja heikommasta lujuudesta johtuen muut lehtipuut yleensä heikentävät koivukeittoon lisättyinä keittimen kapasiteettia ja massan laatua. Haapa, halava ja vaahtera ovat kuitenkin likimain koivun veroisia.

5. YHDISTELMÄ

Tutkimuksessa tarkastellaan eräiden Suomessa viljeltyjen ulkomaisten puulajien sekä pääpuulajeihimme verrattuna vähempiarvoisten kotimaisten puulajien puuteknisiä ominaisuuksia, massan saantoa ja laatua. Aineisto käsitti yhteensä 15 ulkomaista puulajia ja 278 runkoa, jotka olivat peräisin 28 eri metsiköstä sekä 10 kotimaista puulajia eli 267 runkoa 24 metsiköstä. Kaikki metsiköt sijaitsivat Etelä- ja Itä-Suomen alueella. Runkojen puuaineen ominaisuuksia selvitettiin pääasiassa puun pituussuunnassa metrin välein otetuista näytekiekoista. Massatekniset ominaisuudet selvitettiin sitä varten otetuista puulajikohtaisista näytepölkyistä.

Tutkimuksen päätulokset ovat seuraavat.

1. Useimmilla havupuulajeilla rungon kosteussuhde nousi verraten tasaisesti puun tyveltä latvaa kohti kun taas lehtipuilla kosteussuhde rungon pituussuunnassa oli tasainen tai sen muutokset havupuita vähäisempiä. Rungon keskimääräiset kosteussuhteet vaihtelivat havupuulajeilla 45—144 prosenttiyksikköön ja lehtipuulajeilla 42—104 prosenttiyksikköön.

2. Kuoren painoprosentti laski kaikilla havupuulajeilla tyvestä keskimäärin 2—3 m etäisyydelle, jonka jälkeen se alkoi uudelleen nousta, aluksi hitaasti mutta latvaa kohti nopeammin. Lehtipuiden rungoissa kuoren suhteellinen osuus sen sijaan nousi useimmilla puulajeilla tasaisesti kannon korkeudelta latvaan päin. Runkojen keskimääräinen kuoren massa vaihteli havu- ja lehtipuilla 9,5—16,3 ja 10,6—24,1 prosenttiyksikköön. Kaikilla havupuilla kuoriprosentti oli korkeampi kuin kotimaisen männyn ja kuusen ja useimmilla lehtipuillakin korkeampi kuin koivun kuoriprosentti.

3. Rungon sisäisten oksien määrä oli pienimmillään rungon tyviosassa ja nousi kohti latvaa. Keskimääräinen oksaprosentti oli havupuilla 2,2 ja lehtipuilla 1,4.

4. Kaikilla tutkituilla havupuilla ja useilla kotimaisilla lehtipuillakin todettiin sydänpuuta. Sydänpuun suhteellinen osuus rungossa laski voimakkaasti tyvestä kohti latvaa, joskin useilla puulajeilla sydänpuun korkeimmat arvot esiintyivät rungossa 10—40 %:n suhteellisella korkeudella. Eri havupuulajeilla runkojen keskimääräinen sydänpuuprosentti vaihteli 26,7—70,6 ja lehtipuilla 10,3—60,5 prosenttiyksikköön.

5. Useimmilla havu- ja lehtipuulajeilla puuaineen kuiva-tuoretiheys nousi tyveltä rungon pituussuunnassa, mutta joillakin lajeilla se päin vastoin laski kohti latvaa. Puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelut johtuivat puulajin vaikutuksen ohella pääasiassa puuaineen sisältämistä oksista, sillä oksaisten kiekkojen kuiva-tuoretiheys oli havu- ja lehtipuilla keskimäärin 6,4 ja 2,7 % oksattomia näytteitä korkeampi.

Tutkimukseen kuuluneiden ulkomaisten mäntylajien kuiva-tuoretiheys oli alhaisempi kuin kotimaisella viljelymännyllä, ja useimpien kuusilajien kuiva-tuoretiheys korkeampi kuin tavallisissa istutetuissa kuusikoissa.

Havu- ja lehtipuulajien puuaineen kuiva-tuoretiheydet vaihtelivat 328—508 ja 389—607 kg/m^3.

6. Lähes kaikki tutkitut havupuulajit olivat massateknisiltä ominaisuuksiltaan kuusen ja männyn luokkaa, selvästi huonompina voitiin pitää ainoastaan katajaa ja kanadantuijaa. Lehtipuulajit olivat massan saannon ja lujuusominaisuuksiensa perusteella koivua huonompia halavaa, vaahteraa ja haapaa ehkä lukuunottamatta. Havupuumassojen hyvät lujuusominaisuudet johtuvat korkeista puun kuidunpituuksista ja lehtipuumassoja keskimäärin alhaisemmat saannot korkeammista puun ligniinipitoisuuksista.

KIRJALLISUUSLUETTELO

AALTIO, E. 1968. Puumassan valmistus. Suomen Paperi-insinööriyhdistyksen oppi- ja käsikirja II: $A_1 1$—$K_2 20$. Helsinki.

ALESTALO, A. & HENTOLA, Y. 1967. Leppä sulfaattikeitossa. Summary: Alder in sulphate pulping. Paperi ja puu 50:25—27.

BEGEMANN, H. 1963—69. Lexikon der Nutzhölzer. I—V. Mering.

CAJANDER, A. 1917. Metsänhoidon perusteet II. 652 s. Porvoo.

ESKILSSON, S., PERSSON, A. & SVENSSON, L. 1969. Främmande trädslag. Litteraturundersökning rörande lämplighet för odling och användning i Sverige. 21 s.

GISLERUD, O. 1971. Fremmande bartreslag i fjellskog østafjells - vedenskaper og muligheter for industriell anvendelse. En litteraturstudie. Summary: Foreign coniferous tree species in mountain forests in Eastern Norway — wood properties and possibilities for industrial use. Tidsskr. Skogbr. 82(2): 213—230.

HAKKILA, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Tiivistelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Commun. Inst. For. Fenn. 61(5):1—98.

— 1967 a. Puun laadun vaikutuksesta mäntysulfaattisellua valmistettaessa. Summary: On wood quality in sulphate pulping of Scots pine. Paperi ja puu 50(7):461—464.

— 1967 b. Vaihtelumalleja kuoren painosta ja painoprosentista. Summary: Variation patterns of bark percentage by weight. Commun. Inst. For. Fenn. 62(5):1—37.

— 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. Lyhennelmä: Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 68(8):1—60.

— 1970. Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder (*Alnus incana*). Seloste: Harmaalepän puuaineen tiheys, kuoriprosentti ja kuiva-ainesisältö. Commun. Inst. For. Fenn. 71(5):1—33.

— & UUSVAARA, O. 1968. On the basic density of plantation-grown spruce. Lyhennelmä: Viljelykuusikoitten puuaineen tiheydestä. Commun. Inst. For. Fenn. 66(6):1—23.

— , HEIKKILÄ, P. & MICHELSEN, P. 1970. Vanerikoivujen rasiinkaatokausi. Summary: Leaf-seasoning in veneer birch logging. Commun. Inst. For. Fenn. 70(2):1—42.

— & PANHELAINEN, A. 1970. On the wood properties of *Pinus contorta* in Finland. Lyhennelmä: Suomessa kasvatetun *Pinus contortan* puuaineen ominaisuuksista. Commun. Inst. For. Fenn. 73(1):1—43.

— & WINTER, A. 1973. On the properties of larch wood in Finland. Lyhennelmä: Suomessa kasvatetun lehtikuusipuun ominaisuuksista. Commun. Inst. For. Fenn. 79(7):1—43.

HEIKINHEIMO, O. 1956. Tuloksia ulkomaisten puulajien viljelystä Suomessa. Referat: Ergebnisse von einigen Anbauersuchen mit fremdländischen Holzarten in Finnland. Commun. Inst. For. Fenn. 46(3):1—129.

ILVESSALO, L. 1920. Ulkomaalaisten puulajien viljelymahdollisuudet Suomen oloja silmällä pitäen. Referat: Über die Anbaumöglichkeit ausländischer Holzarten mit spezieller Hinsicht auf die finnischen Verhältnisse. Acta For. Fenn. 17(2):1—112.

KARLBERG, S. 1961. Development and yield of Douglas fir (*Pseudotsuga taxifolia* (Poir.) Britt.) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in southern Scandinavia and on the Pacific coast. Kungl. Skogshögsk. Skr. 34:1—21.

KIELLANDER, C. 1963. Experiences and present situation of foreign tree species and provenances in Sweden. Proc. of the world consultation on forest genetics and tree improvement 1(4/6):1—19.

— 1966. Exoter i svenskt skogsbruk. Särtryck ur föreningen för dendrologi och parkvård årsbok Lustgården 1964—1965. Uppsala 1966:194—220.

KUJALA, V. 1964. Metsä- ja suokasvilajien levinneisyys- ja yleisyyssuhteista Suomessa. Vuosina 1951—1953 suoritetun valtakunnan metsien III linja-arvioinnin tuloksia. Referat: Über die Frequenzverhältnisse der Wald- und Moorpflanzen in Finnland. Ergebnisse der III Reichswaldabschätzung 1951—1953. Commun. Inst. For. Fenn. 59(1):1—137.

KÄRKKÄINEN, M. 1977. Puu. Sen rakenne ja ominaisuudet. 442 s. Helsinki.

— 1978. Haapatukkien lahoisuus. Summary: Occurrence of decay in aspen logs. Silva Fenn. 12(3): 217—221.

— 1979. Haapakokopuiden tekniset ominaisuudet. Summary: Technical properties of aspen whole trees. Käsikirjoitus Metsäntutkimuslaitoksessa.

— & SALMI, J. 1978. Tutkimuksia haapatukkien mittauksesta ja teknisistä ominaisuuksista. Summary: Studies on the measurement and technical properties of aspen logs. Folia For. 355:1—45.

LEHTONEN, I. 1978. Knots in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and their effect on the basic density of stemwood. Seloste: Männyn (*Pinus sylvestris* L.) ja kuusen (*Picea abies* (L.) Karst.) sisäoksat ja niiden vaikutus puun tiheyteen. Commun. Inst. For. Fenn. 95(1):1—34.

— , PEKKALA, O. & UUSVAARA, O. 1978. Tervalepän (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) ja raidan (*Salix caprea* L.) puu- ja massateknisiä ominaisuuksia. Summary: Technical properties of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) and great sallow (*Salix caprea* L.) wood and pulp. Folia For. 344:1—19.

LÖNNBERG, B. 1976. Short-rotation hardwood species as whole-tree raw material for pulp and paper. 110 s. Helsinki.

— , NIKKI, M. & MAKKONEN, H. 1968. Leppäsulfaattimassojen keitto. Oy Keskuslaboratorio. Seloste 856. Julkaisematon.

MAKKONEN, H. 1967 a. Vertaileva keittotutkimus eri osissa Suomea kasvaneen paperipuun sellusaannosta ja sellujen ominaisuuksista. Osa I. Mänty. Oy Keskuslaboratorio. Seloste 760. Julkaisematon.

— 1967 b. Vertaileva keittotutkimus eri osissa Suomea kasvaneen paperipuun sellusaannosta ja sellujen ominaisuuksista. Osa III. Koivu. Oy Keskuslaboratorio. Seloste 794. Julkaisematon.

NYLINDER, P. 1959. Synpunkter på produktionens kvalitet. Rapp. Uppsats. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 2:1—19.

— 1961. Om träd- och vedegenskapers inverkan på råvolymvikt och flytbarhet. I. Tall. Summary: Influence of tree features and wood properties on basic density and buoyancy. I. Scots pine (*Pinus silvestris*). Rapp. Uppsats. Instn. Virkeslära. Skogshögsk. 35:1—63.

Punkaharjun retkeilykohteiden selostukset. Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueita 3. 1958. 1—75.

Ruotsinkylän retkeilykohteiden selostukset. Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueita 2. 1958. 1—52.

SALIN, M. & PALENIUS, I. 1970. Murrayanamännyn sopivuus sulfaattimassan valmistukseen. Oy Keskuslaboratorio. Seloste 995. Julkaisematon.

SALMI, J. 1972. Suomalaisia ja ulkomaisia puulajeja. Osa I: Havupuut. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos. Tiedonantoja 17:1—227.

— 1977. Suomalaisia ja ulkomaisia puulajeja. Osa II. Lehtipuut A—N. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos. Tiedonantoja 35:1—282.

— 1978. Suomalaisia ja ulkomaisia puulajeja. Osa III. Lehtipuut O—Ö. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos. Tiedonantoja 38:1—298.

SARVAS, R. 1964. Havupuut. 518 s. Porvoo.

SAUKKONEN, M. 1971. Eri puolilla Suomea kasvaneen lehtikuusen sopivuus massan raaka-aineeksi. Oy Keskuslaboratorio. Seloste 1068. Julkaisematon.

Solbölen retkeilykohteiden selostukset. Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueita 4. 1958: 1—42.

TAMMINEN, Z. 1962. Fuktighet, volymvikt mm. hos ved och bark. I. Tall. Summary: Moisture, density, etc. of wood and bark. 1. Scots pine. Skogshögsk. Rapp. Instn. Virkeslära R 41:1—118.

— 1964. Fuktighet, volymvikt, m.m. hos ved och bark. II. Gran. Summary: Moisture content, density and other properties of wood and bark. II. Norway spruce. Skogshögsk. Rapp. Instn. Virkeslära R 47:1—56.

TIGERSTEDT, A. 1922. Mustilan kotikunnas. Summary: Arboretum Mustila. Acta For. Fenn. 24(2):1—231.

TIGERSTEDT, P. 1970. Dendrologiska experiment på arboretum Mustila. Särtryck ur föreningens för dendrologi och parkvård årsbok Lustgården 1969—1970. Uppsala 1970: 141—174.

TIKKA, P. 1954. Haapametsiköiden rakenteesta ja laadusta. I Rakenne. Summary: Structure and quality of aspen stands. I Structure. Commun. Inst. For. Fenn. 44(4):1—33.

— 1955. Haapametsiköiden rakenteesta ja laadusta. II Laatu. Summary: Structure and quality of aspen stands. II Quality. Commun. Inst. For. Fenn. 45(3):1—54.

TRENDELENBURG, R. & MAYER-WEGELIN, H. 1955. Das Holz als Rohstoff. Zweite Auflage. 541 s. München.

UUSVAARA, O. 1974. Wood quality in plantationgrown Scots pine. Lyhennelmä. Puun laadusta viljelymänniköissä. Commun. Inst. For. Fenn. 80(2):1—105.

WEISSENBERG, K. von. 1972. Experiences of Lodgepole pine in Finland. Paper presented at the meeting of the nordic working group on provenance research and seed procurement. 73 s.

VIRKOLA, N-E., VARTIAINEN, V. & JÄRVELÄ, O. 1963. Eri keittomenetelmien vertailua lähinnä valkenevuuden kannalta. Oy Keskuslaboratorio. Seloste 619. Julkaisematon.

VUOKILA, Y. 1960. Siperialaisten lehtikuusikoiden kehityksestä ja merkityksestä maamme metsätaloudessa. Summary: On development of Siberian larch stands and their importance to forestry in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 52(5):1—111.

— 1971. Lehtikuusen puuntuotantokyky ja kasvatusmahdollisuudet Suomessa. Suomalais-neuvostoliittolainen puukemian symposiumi. Leningrad. 98 s. Moniste.

SUMMARY

The study deals with the wood-technical properties, pulp yield and quality of some foreign tree species cultivated in Finland and of some native tree species of lesser value than the main tree species. The material consisted of 15 foreign species, 278 stems, from 28 different stands and 10 native tree species, 267 stems, from 24 stands. All the stands were situated in southern and eastern Finland. The properties of the wood were studied mainly from sample discs cut at one-metre intervals along the stem. The technical properties of the pulps were studied from sample logs of the species.

The main results of the study were:

1. The stem moisture content of most softwood species increased evenly from the butt up to the crown, while that of hardwoods remained constant throughout the length of the stem or its changes were smaller. The average stem moisture contents varied from 45 to 144 per cent units for the softwoods and from 42 to 104 per cent units for the hardwoods.

2. The bark percentage by weight decreased in all the softwood species from the butt up to an average distance of 2—3 m and then began to increase again, at first slowly but faster towards the top. For the hardwood stems, in contrast, the relative share of bark in the stems increased evenly in most tree species from butt height up to the crown. The average bark percentage by weight in the stems ranged from 9,5 to 16,3 and from 10,6 to 24,1 per cent units in the softwoods and hardwoods. The bark content of all the softwoods was higher than that of the native pine and spruce and in most of the hardwoods higher than that of birch.

3. The number of knots was smallest in the butt portion and increased towards the top. The average knot volume percentage was 2,2 for softwoods and 1,4 for hardwoods.

4. Heartwood was encountered in all the softwoods studied and also in several of the native hardwood species. The relative heartwood content of the stem decreased rapidly on moving from the butt up to the crown; however, the highest values of heartwood content in several species were at the relative height of 10—40 per cent of the stem. The average heartwood content of the stems in the softwood species was 26,7—70,6 and in the hardwoods 10,3—60,5 per cent units.

5. The basic density of most of the softwood and hardwood species increased from the butt upwards, but in some it declined towards the butt. The variations in the basic wood density were due not only to the effect of the tree species but, and chiefly, to the knots, for the basic density of knotty discs was an average of 6,4 and 2,7 per cent higher than in knotless samples from softwoods and hardwoods. The basic density of the foreign pine species was lower than that of the native plantation-grown pine, and the basic density of most of the spruce species was higher than in ordinary planted spruce stands.

The basic densities of the softwood and hardwood species varied from 328 to 508 and from 389 to 607 kg/m^3.

6. Nearly all the softwoods were equal to the spruce and pine in their technical pulp properties. Only *Juniperus communis* and *Thuja occidentalis* pulps were distinctly poorer. The harwood species were inferior to birch in their pulp yield and strength properties, possibly with the exception of *Salix pentandra*, *Acer platanoides* and *Populus tremula*. The good strength properties of the softwood pulps are to be ascribed to long fibres and the lower yields on average of the hardwood pulps to higher lignin contents of softwoods compared to hardwoods.

WOOD DENSITY SURVEY AND DRY WEIGHT TABLES FOR PINE, SPRUCE AND BIRCH STEMS IN FINLAND

PENTTI HAKKILA

Seloste

MÄNTY-, KUUSI- JA KOIVURUNKOJEN PUUAINEEN TIHEYS JA KUIVAPAINOTAULUKOT

HELSINKI 1979

PREFACE

The Department of Forest Inventory, Finnish Forest Research Institute, began in summer 1968 to collect material for the compilation of new volume functions for standing trees. On the initiative of Professor Kullervo K u u s e l a a second, parallel target was set subsequently for the study: dry weight tables for pine, spruce and birch stems. The latter task required elucidation of the stem-to-stem variation of the basic density of wood in different parts of the country. The wood density survey was performed with this in mind.

The Department of Forest Inventory was responsible for collecting the material. The field crews under Mr. Jouko L a a s a s e n a h o were led by Mr. Tapani J u h e and Mr. Matti K u j a l a. In addition to other measuring work, they collected increment core material from felled and standing trees for laboratory measurements of the basic density of wood.

The part of the work that concerned dry weight tables and basic density of wood became the responsibility of the Department of Forest Technology as study of wood properties in the Forest Research Institute comes traditionally within its range of activity.

The laboratory work was carried out under the direction of Mrs. Taija H a v a n t o and in the final stages under that of Mrs. Kaarina K o s k i n e n at the Department of Forest Technology.

The volume functions were completed in 1976 (L a a s a s e n a h o 1976). Work on the weight tables was interrupted because of reorganisation measures at the Department of Forest Technology. In autumn 1976, when, the Academy of Finland initiated the three-year Research Project on Complete-Tree Utilization of Forest Biomass at the Department of Forest Technology, the opportunity finally arose of bringing the work to a conclusion.

The statistical treatment of the material was performed by Miss Marjut R a i v o n e n. Miss Raija S i e k k i n e n and Mrs. Aune R y t k ö n e n typed the manuscript and Mrs. Leena M u r o n r a n t a did the drawings. The test material for the dry weight tables was collected in summer 1979 under the direction of Messrs. Hannu K a l a j a, Tapio N e v a l a i n e n and Erkki S a l o. The study was translated from Finnish into English by Miss Päivikki O j a n s u u and Mr. L. A. K e y w o r t h. The manuscript was checked by Professors Kullervo K u u s e l a and Matti K ä r k k ä i n e n.

I express my sincere thanks to all those who participated in the work. Mention must be made especially of the contribution of Professor Kullervo K u u s e l a, Mr. Jouko L a a s a s e n a h o, Mrs. Kaija K a n n i n e n and Miss Marjut R a i v o - n e n to the planning of the study and the treatment of the material.

Padasjoki, August 1979

Pentti Hakkila

ODC 812.31 (083.5)
ISBN 951-40-0421-3
ISSN 0026-1610

HAKKILA, P. 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Seloste: Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot. Commun. Inst. For. Fenn. 96 (3): 1—59.

The groundwork of the study comprised a comprehensive standing timber material collected for the new volume functions: 1 643 Scots pine (*Pinus sylvestris*), 1 368 Norway spruce (*Picea abies*) and 310 birch (*Betula pubescens* and *Betula pendula*) stems. A double increment core was bored from each tree at breast height; the core was 8 mm for softwoods and 5 mm for birch. The material also included a smaller number of felled test trees from which cores were taken at several different heights. The material was collected from the tract network of the National Forest Inventory in such a way that it can be considered to represent unbiasedly the whole growing stock of different parts of Finland. To test the accuracy of the tables a separate material of 264 felled trees was collected later.

The first part of the study comprises the Finnish wood density survey. The results provide information about the average basic density of wood in the pine, spruce and birch stems in different parts of Finland as a function of tree age, bole size, growth rate, forest site type and development class of the stand. The basic density of knot-free stem wood is on average 403 kg/m^3 for pine, 380 kg/m^3 for spruce and 483 kg/m^3 for birch.

The second part of the study comprises the dry weight tables for stems. The tables are based, on the one hand, on L a a s a s e n a h o's volume functions founded on breast height diameter, height and taper and, on the other hand, on regression equations which explain the stem-to-stem variation of wood density. The variables of the tables are breast height diameter, tree height, taper and geographical location.

Tutkimuksen perustana on uusia kuutioimisyhtälöitä varten kerätty laaja pystypuuaineisto, joka sisältää 1 643 mäntyä, 1 368 kuusta ja 310 koivua. Kustakin puusta kairattiin rinnankorkeudelta havupuilla 8 mm:n ja koivuilla 5 mm:n kairalla kaksoislastu. Lisäksi aineistossa on pienempi määrä kaadettuja koepuita, joista lastuja otettiin useilta eri korkeuksilta. Aineisto kerättiin valtakunnan metsien inventoinnin traktiverkostolta siten, että sen voidaan katsoa antavan harhattoman näytteen Suomen eri osien puustosta. Taulukoitten tarkkuuden testaamiseksi kerättiin myöhemmin erillinen aineisto, joka sisältää 264 kaadettua puuta.

Työn ensimmäisessä osassa selvitellään puuaineen tiheyden vaihtelua. Tulokset sisältävät tietoja männyn, kuusen ja koivun rungon keskimääräisestä puuaineen kuiva-tuoretiheydestä maan eri osissa puun iästä, rungon koosta, kasvunopeudesta, kasvupaikasta ja metsikön kehitysluokasta riippuen. Oksattoman runkopuun puuaineen keskimääräinen tiheys on männyllä 403, kuusella 380 ja koivulla 483 kg/m^3.

Työn toinen osa käsittää runkojen kuivapainotaulukot. Taulukoitten pohjana ovat toisaalta rinnankorkeusläpimittaan, pituuteen ja kapenemiseen perustuvat L a a s a s e n a h o n kuutioimisyhtälöt sekä toisaalta regressioyhtälöt, jotka selittävät runkojen välistä puuaineen tiheyden vaihtelua. Taulukoitten muuttujat ovat rinnankorkeusläpimitta, puun pituus, kapeneminen ja maantieteellinen sijainti.

CONTENTS

1. INTRODUCTION 7

2. MATERIAL AND METHODS 9

21. Collection of samples 9

211. Basic material of standing trees 9

212. Additional material of felled trees 12

213. Material for testing the tables 12

22. Laboratory procedure 13

221. Determination of stem volume 13

222. Determination of wood density 13

3. VARIATION OF BASIC DENSITY OF KNOT-FREE WOOD 15

31. Estimating the average density of the stem 15

32. Density variation between the stems 17

321. Stem size as a wood density indicator 18

322. Age and growth rate as wood density indicators 19

323. Influence of geographical location on wood density 20

33. Results of the wood density survey 23

4. STRUCTURE AND ACCURACY OF THE DRY WEIGHT TABLES 28

41. Basic factors of the tables 28

411. Stem volume 28

412. Density of knot-free wood 29

413. Corrections for knots and bark 30

42. Use of the tables 30

43. Accuracy of the tables 31

LITERATURE 36

LYHENNELMÄ 38

THE DRY WEIGHT TABLES 41

Two-factor tables (Dbh and height):

Pine 42

Spruce 43

Birch 44

Three-factor tables (Dbh, height and taper):

Pine 45

Spruce 50

Birch 55

1. INTRODUCTION

In forestry the quantity of the growing stock and timber is traditionally measured on the basis of volume. However, as the dry matter content of a volume unit varies by tree species, tree age, growth conditions, geographical location and other factors, volume is not always the best possible indicator of the true quantity of stem wood. Especially if measurement of the total biomass of the growing stock is in question, dry weight is more appropriate than volume for many scientific and practical purposes.

The volume of the stem of standing trees is usually determined in Finland by means of Ilvessalo's volume tables (I l v e s s a l o 1948) on the basis of the tree's breast height diameter, height and taper. The new volume functions of L a a s a s e n a h o (1976) are based on the same factors.

Although interest in weight tables is increasing their role in practical forestry is still small compared with volume tables. It is therefore imperative that the wieght tables are so compiled that they can be used parallel with existing volume tables and on the basis of the same measurements.

»Variation of an important factor in the measurement of tree volume, the form of the stem of the tree, is so great on account of many factors that it is not easy to determine even from a felled tree. Its determination from a standing tree is considerably more unreliable. The volume of an individual tree, when taken from tables, may therefore differ appreciably from the true volume. In fact, volume tables are not intended to be applied to individual trees but to greater wood quantities, especially measurement of the volume of a stand or forest area. The greater the quantity of wood to be measured for volume, the more accurate is the expectable result» (I l v e s s a l o 1948). The same is naturally true of dry weight tables.

The dry weight of a stem is the product of volume and wood density. As a great part of the variation of wood density is dependent on the age of the tree, growth rate and genetic factors it is difficult to explain solely with the help of external tree characteristics. It is consequently to be expected that the accuracy of weight tables will be weaker, regardless of the size of the material and the care taken with the work than that of volume tables.

Weight tables for different tree species which include branches as well as stem have been published in several countries (cf. Y o u n g 1976). The present weight tables are confined to the stem. On the other hand, they are based on an exceptionally

large material. Even as such, they represent in Finnish conditions a step forward in preparing an inventory of the biomass of a stand, for corresponding elucidations have been made so far only on rather a limited scale. Examples of earlier publications are the tables of Wilhelmsen and Vestjordet (1974) for merchantable stems and stands of Norway spruce in Norway and Hakkila's (1970) tables for speckled alder stems in Finland.

Dry weight tables and functions should be enlarged in the long-term view to show not only the stem but also the biomass of the branches and possibly the stump-root system, with forest biomass inventory as the final goal (cf. Young 1978 and 1979, Kuusela and Hakkila 1979, Kuusela 1979). The green weight tables for whole small-sized pine, spruce (Kanninen, Uusvaara and Valonen 1979) and aspen (Kärkkäinen 1979) trees have the same aim.

Compilation of the weight tables required the collection of a comprehensive increment core material representing the whole of Finland. The wood density survey was based on this material. It gives an idea of the variation in the wood density of Finland's principal tree species. The results, published in Chapter 3, may be useful to the forest industry and other users of wood.

2. MATERIAL AND METHODS

21. Collection of samples

211. Basic material of standing trees

The material was collected by the Department of Forest Inventory, Finnish Forest Research Institute. The primary object was volume functions for pine, spruce and birch stems covering the country as a whole. At the same time, increment core material was collected for the parallel aims of the Finnish wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems.

It is essential for all these purposes that the material represents unbiasedly the whole growing stock of the Finnish forests. To make random sampling possible the main material had to be collected from standing trees. Had it been necessary to fell the trees for the measurements and the density samples, it would have been necessary to compromise with the requirement of representativeness.

The material was collected as a part of the Fifth National Forest Inventory mainly during the years 1968—1972. The country was first divided into 95 sub-regions each consisting of the 50 sampling tracts used in the National Forest Inventory. From each sub-region one tract was selected at random for tree measurements and collection of wood density samples from standing trees. The main material was thus collected from 95 tracts evenly distributed though different parts of the country.

On a given track, the trees were selected systematically from a cluster of 26 sample plots located 200 m apart. The sample trees on a plot were selected by angle gauge with the basal area factor 2. The maximum number of trees from one plot, however, was restricted to 5. The total material collected in this way was as follows.

	Pine	Spruce	Birch	Total
Standing trees for volume functions	2 326	2 864	863	5 053
Standing trees for density measurements	1 643	1 368	310	3 321

The material for density measurements was smaller than that for volume functions. This was primarily because the density samples were collected only in 1968—1970 while the collection of the material for volume functions continued until 1972. In addition, some increment cores had to be rejected for decay, knots or other defects.

The collection of the material and measurement of the test trees were described in detail by L a a s a s e n a h o (1976). Suffice it to mention here that for volume functions each tree was climbed and its diameter measured at the following relative heights to an accuracy of one millimetre: 1, 2,5, 5, 7,5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90 %. In addition, *breast height diameter was measured at 1,3 m from the ground.* The height of the tree from ground to crown was measured to an accuracy of one decimetre.

Extra to these data required for volume measurement, a great many factors describing the sample plot, the site type and the tree itself were recorded (cf. L a a s a s e n a h o 1976). The most important variables for the wood density survey were:

Plot data:

— Geographical location
— Climatic zone
— Forest site type
— Development class
— Basal area

Tree data:

— Tree species
— Age at breast height
— Breast height diameter
— Tree height
— Crown height
— Recent height growth
— Thichkest branch at the relative height of 70 %
— Crown class
— Distance to neighbouring trees

A double increment core through the pith to the opposite surface of the stem was taken at breast height from the test trees for density measurements. An 8 mm borer was used for softwoods and a 5 mm one for birch. The condition of the borers was controlled constantly to ensure that the cores obtained were smooth. The cores were stored in paper board cylinders.

Table 1. Average measurements of the material of standing trees in the wood density survey by climatic zones.

Taulukko 1. Puuaineen tiheyden tutkimiseksi kerätyn pystypuuaineiston keskimääräisiä mittoja ilmastovyöhykkeittäin.

Variable *Muuttuja*	Climatic zone — *Ilmastovyöhyke*						All *Kaikki*
	1	2	3	4	5	6+7	
PINE — *MÄNTY*							
Number of trees — *Puita, kpl*	148	185	153	236	529	378	1 643
Age, a — *Ikä, a*	149	103	98	68	68	64	81
Dbh, mm — $D_{1,3}$, *mm*	236	216	205	188	189	231	208
Height, dm — *Pituus, dm*	122	131	132	132	138	161	140
Volume, dm^3 — *Tilavuus, dm^3*	347	344	285	271	263	412	318
Crown proportion, % — *Latvussuhde, %*	59	61	55	54	54	54	56
SPRUCE — *KUUSI*							
Number of trees — *Puita, kpl*		85	105	212	566	400	1 368
Age, a — *Ikä, a*		118	102	70	55	51	64
Dbh, mm — $D_{1,3}$, *mm*		178	165	171	192	190	185
Height, dm — *Pituus, dm*		121	110	128	149	151	142
Volume, dm^3 — *Tilavuus, dm^3*		211	167	222	292	321	275
Crown proportion, % — *Latvussuhde, %*		82	80	78	80	81	80
BIRCH — *KOIVU*							
Number of trees — *Puita, kpl*	10	7	13	72	115	93	310
Age, a — *Ikä, a*	79	72	93	56	57	54	58
Dbh, mm — $D_{1,3}$, *mm*	99	157	134	139	174	179	163
Height, dm — *Pituus, dm*	88	111	108	127	159	161	146
Volume, dm^3 — *Tilavuus, dm^3*	46	179	108	128	257	266	215
Crown proportion, % — *Latvussuhde, %*	67	72	53	60	62	64	62

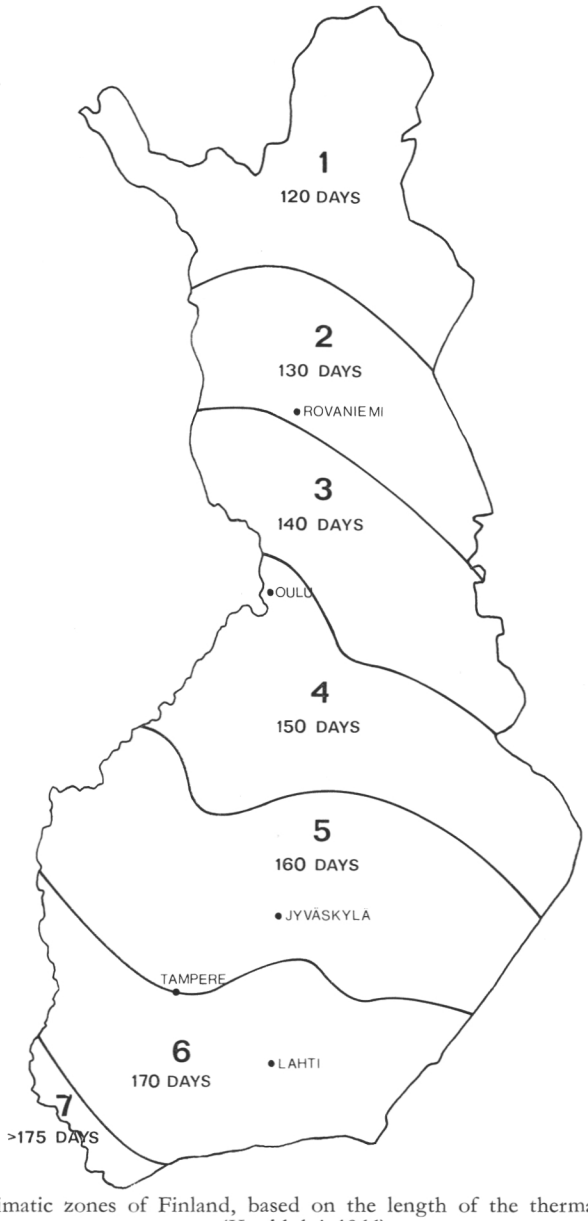


Figure 1. The climatic zones of Finland, based on the length of the thermal vegetation season (K o l k k i 1966).

Kuva 1. Termisen kasvukauden pituuteen perustuvat ilmastovyöhykkeet (K o l k k i 1966).

The average measurements of the test trees by climatic zones are given in Table 1. The zonal distribution is based on the duration of the thermal vegetation season; it is shortest, less than 120 days in northern zone 1 and longest, more than 175 days, in south-coast zone 7 (Fig. 1). There are no spruce test trees for zone 1 because most of this zone is north of the area of distribution of spruce. In the treatment of the results zone 7 was combined with zone 6.

212. Additional material of felled trees

The density sample from the standing tree material was taken at breast height only. To construct equations for predicting the average stem density of standing trees from the density of increment cores bored at breast height, the material had to be supplemented with felled sample trees. The additional material was collected from the forests of the Forest Service and the Forest Research Institute.

The additional material was used to establish the correlation between the density sample taken at breast height and the average stem density. For this purpose double increment cores were bored right through the stem at the following heights:

— 0,5 m height
— Breast height
— 20 % height (only trees taller than 8 m)
— 40 % height
— 60 % height
— 80 % height (only trees taller than 8 m)

The additional material for density measurements comprised 150 pines, 166 spruces and 40 birches. It corresponded relatively well to the standing tree material in its average measurements. The differences in wood density between these two materials were insignificant for pine and birch.

	Material of standing trees		Material of felled trees	
	Average density of stem, kg/m³			
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Pine	403,4	28,4	402,6	29,8
Spruce	379,7	32,3	390,8	39,6
Birch	483,1	23,8	484,3	29,0

The same material of felled trees was used for the precisioning of volume functions of the top end of the stem. In addition to the heights stated in Chapter 211, the diameter of the felled trees was measured also at the relative heights of 85 and 95 %.

213. Material for testing the tables

A separate material of felled trees was collected in summer 1979 to test the accuracy of the dry weight tables. The dry weight of each stem was determined on the basis of volume and wood density and the result was compared with the value in the table. The material was taken from nine selected sample plots in different parts of the country, 28—30 trees from each plot. The final total material was 264 trees.

The volume of the test trees was measured carefully in the same way as that of the felled test trees described in Chapter 212. To avoid repetition of a possible method error, wood density was determined differently from the way used in collecting the table material. A 4 cm thick unbarked disc was taken from each stem at the heights of 2,5, 7,5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 and 95 %. The dry weight of the stem was calculated as the product of volume and weighted basic density of the discs.

The accuracy of the tables was tested by comparing the measuring result with the table values at both stem and stand level. The quantity and properties of the test material are given in Table 2.

22. Laboratory procedure

221. Determination of stem volume

Bole volume in this study includes *all the wood* and *bark above the highest root collar that hampers cutting*. If there was no root collar to interfere with bucking the calculation of stem volume began 5 cm above the ground. The same principle was observed in the weight tables.

The Department of Forest Inventory has already published the part of the study dealing with volume functions (L a a s a s e n a h o 1976). The theoretical basis of the work and its practical implementation were described in detail in the same connection. Only the main factors of the volume measurement are repeated here.

The volume of each test tree was calculated from the diameter data and tree height. As already mentioned, the diameter was measured at the following relative heights: 1, 2,5, 5, 7,5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 85 (felled trees only), 90 and 95 (felled trees only) % of tree height. Volume of the stem parts between the measuring heights was calculated (three measuring points per stem length). The stem volume was the sum of the lengths. Newton's formula was used to calculate the volume (V) of each stem length above 5 % height:

$$V = \frac{h}{6} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 + 4\,d_2^2 + d_3^2)$$

h = length of the bolt
d_1 = diameter at the butt
d_2 = diameter in the middle
d_3 = diameter at the top

A polynomial function illustrating the taper curve of the butt end was developed for the stem butt on the basis of the location of the three lowest measuring points and diameter (L a a s a s e n a h o 1976).

Volume functions were calculated with the help of linear regression analysis. The independent variables were diameter at breast height, diameter at 6 m height and tree height.

222. Determination of wood density

In this study wood density refers always to *basic density which denotes the dry-matter weight per unit volume of green wood*. It is expressed in kilograms per solid cubic metre.

For determination of wood density the dry weight and the green volume of the bark-free increment core samples were measured. The dry weight was obtained with the help of a Mettler balance. The green volume was measured by the mercury immersion method evolved by E r i c s o n (1959). Before the volume measurement, the samples were soaked in water until they sank.

The condition of the core surface is of great importance for the accuracy of the method. Uneveness of the surface may prevent the mercury from covering the core completely, which results in excessive core volume and too low basic density.

To avoid systematic error, exceptional attention was paid to the quality of the cores. This was done partly by using large-diameter increment borers. As mentioned earlier, the softwood cores were 8 mm in diameter and the birch cores 5 mm. The borers were sharpened repeatedly during the field operations. These precautions greatly reduced the error caused by the uneveness of the core surface, as reported earlier (cf. H a k k i l a 1966).

Each standing tree of the material was represented by a double increment core taken at breast height. Every felled tree was represented by several double cores bored at different heights of the stem. The double cores were cut into two parts and treated as separate cores.

As described in more detail by Ericson (1959) and Hakkila (1966), cores 2,5—4 cm in length were divided into two and cores longer than 4 cm into three parts to avoid the systematic error caused by the radial variation of wood density. The density was determined separately for each core part, and the average density at the stem height under consideration was calculated by weighting each core part with the cross-section area of stem represented by it.

The method still fails to take into account all the radial variation of wood density in the increment core. A source of systematic error still remains. Although it can be calculated that this error is smaller than 2 kg/m^3 (Hakkila 1966), 4 cm discs were used instead of increment cores when determining the wood density of trees in the control material collected for testing the accuracy of the dry weight tables (cf. Chapter 213).

3. VARIATION OF BASIC DENSITY OF KNOT-FREE WOOD

31. Estimating the average density of the stem

Wood density varies in the radial direction of the stem. In Scots pine the density increases from pith to cambium until a certain age. When the ring age at the stem height under consideration is about 80 years, the average density of a cross section of pine seems to reach its peak in South Finnish conditions. In spruce the radial variation is more irregular. Contrary to pine, the density of the spruce stem decreases first from the pith towards the cambium, but begins soon to increase again. In birch the pattern is more or less similar to pine (cf. H a k k i l a 1966).

As a result of the radial variation wood density changes also in the longitudinal direction of the stem (Fig. 2). The variation is actually often greater within the stem than between the stems.

The density gradient in the longitudinal direction of pine stem is sharper at the butt, but slows down within the living crown. In birch the variation pattern is similar,

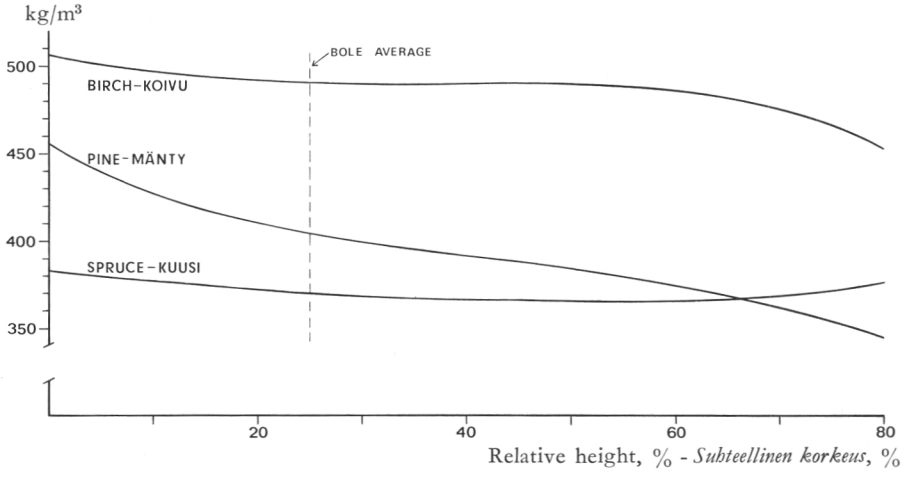


Figure 2. The variation pattern of wood density in the longitudinal direction of the stem in southern Finland. The age of trees 40—80 years (cf. H a k k i l a 1966).

Kuva 2. Puuaineen tiheyden vaihtelu rungon pituussuunnassa Etelä-Suomessa. Puitten ikä 40—80 vuotta (vrt. H a k k i l a 1966).

but the slope is not as steep. In spruce the density first decreases slowly but later starts increasing again towards the top of the tree.

The longitudinal density variation cannot be ignored when collecting samples for wood density survey and dry weight tables. It has been shown that the density at 25 % height of the stem is approximately the same as the average stem density (cf. N y l i n d e r 1961). In the earlier material of the Forest Research Institute the pifference was practically insignificant (H a k k i l a 1966):

	Density at breast height, kg/m³	Density at 25 % height, kg/m³	Average stem density, kg/m³
Pine	432,4	408,5	408,6
Spruce	392,4	386,3	386,8
Birch	509,8	488,1	488,6

The average stem density can thus be estimated with great accuracy from a sample taken at 25 % height. However, collecting a large number of samples from standing trees at heights of up to 7 metres is laborious and costly. For practical reasons the increment core samples must be taken at breast height.

At breast height the density is higher than on average in the stem. A correction is performed by using a regression equation giving the average stem density as a function of the density measured at breast height.

The additional material of felled trees (Chapter 212) was collected for working out the equations. Measured from a double increment core, breast height density alone can be used for predicting the average stem density. Especially in spruce, where the longitudinal variation of density is slighter than in pine and birch the deviation from the regression equation is rather small. Age and size variables improve the equations. Generally taken, the power of the equation is stronger the smaller the longitudinal variation of the density on a species.

The following simple and multiple linear equations can be used for predicting average stem density (BD_s, kg/m³) from the density of increment cores taken at breast height. In the present survey the set of multiple regression equations given below were used for converting the breast height density of a standing tree to the average stem density.

Simple linear equations:	s, kg/m³	R^2
Pine $BD = 109{,}4 + 0{,}676\ BD_b$	14,0	0,781
Spruce $BD = -1\,528{,}1 + 321{,}23\ \ln(BD_b)$	15,0	0,857
Brich $BD = 150{,}5 + 0{,}682\ BD_b$	14,1	0,770

Multiple linear equations:		
Pine $BD = 242{,}1 + 0{,}739\ BD_b - 57{,}30\ \ln(d) + 0{,}023\ a + 0{,}040\ h + 10{,}35\ (d/h)^2 - 0{,}685\ BD_b/h$	12,9	0,822
Spruce $BD = -1\,229{,}9 + 267{,}21\ \ln(BD_b) - 15{,}303\ \ln(d/a) - 392{,}2\ V + 20{,}5\ d/a$	13,9	0,882
Birch $BD = -72{,}0 + 1{,}628\ BD_b - 13{,}49\ \ln(h/a) - 0{,}00107\ BD_b^2$	11,9	0,844

BD = Average stem density, kg/m³
a = Age, a
d = Dbh, cm
h = Height, m
V = Volume, m³
BD_b = Density at breast height, kg/m³

For all three tree species the deviation from the multiple regression equation used in this study is smaller than in the earlier material of the Forest Research Institute (cf. Hakkila 1966). Compared with the equations used in the North American wood density surveys the accuracy is significantly higher (cf. Southern Wood Density Survey 1965, Western Wood Density Survey 1965, Wahlgren et al. 1966 and 1968, Pronin 1971, Maeglin and Wahlgren 1972, Wahlgren and Schumann 1972, Maeglin 1973).

32. Density variation between the stems

The Forest Research Institute has previously studied the density variation in Finland's main tree species in a comprehensive material collected from South Finland in a geographical area limited to around 61° and 62° lat. (cf. Hakkila 1966). The aim was to chart the factors affecting the variation rather than to collect representative average data. The material was confined to trees which according to silvicultural practice should have been removed during the next felling. Stem-to-stem variation at the time was as follows:

	Number of trees	Average stem density, kg/m³	Standard deviation kg/m³	Standard deviation %
Pine	785	409	32,8	8,0
Spruce	751	387	30,0	7,8
Silver birch	249	497	31,2	6,3
White birch	310	482	29,2	6,1

The new material represents the total growing stock of Finland's forests in different parts of the country. It can be assumed that the average density of the total growing stock differs from the density of the trees to be removed by felling. This is so at least in selective thinning cuttings in which the principle of thinning from below is observed. The density of the trees that have grown slowly is generally higher than that of fast-growing trees, as will be shown later. It follows from this that the density in the material collected from the whole growing stock is slightly lower than in trees removed in felling.

For pines at least, in addition to the above also the presence of the growing stock of North Finland has a similar effect. The density was consequently slightly lower in the new material, but the differences were not great. The average difference was 1,5 %.

	Number of trees	Average stem density, kg/m³	Standard deviation kg/m³	Standard deviation %
Pine	1 643	403,4	28,4	7,0
Spruce	1 368	379,7	32,3	8,5
Birch	310	483,1	23,8	4,9

The standard deviation of the average density of the stem was 7,0 % of the mean for the tree species for pine, 8,5 % for spruce and 4,9 % for birch. The factors causing variation can be grouped in the following way:

— Genetic factors
— Environmental factors (geographical location or climate, site type, stand density, etc.)
— External tree characteristics (stem size, age, growth rate, etc.)

Classification of the variables is not unequivocal. External tree characteristics are the product of environmental and genetic factors. However, it is possible to analyse the variation of density within the classification so that the results give a direct answer to certain practical questions. What is needed most of all is data on the average density of defect-free stem wood in different parts of the country according to tree size, age and rate of growth.

321. Stem size as a wood density indicator

It would be useful for the primary aim of the present study if it were possible to predict the average stem density solely by means of stem size. It would be ideal in the compilation of dry weight tables if it were possible to explain stem-to-stem variation with the same variables as are needed in any case for the measurement of stem volume. On the other hand, the tree user also needs information about wood density as a function of stem size.

For this reason, it was sought to explain density in the first phase solely by means of external tree characteristics which illustrate stem size. The following variables enter into question in selective regression analysis: breast height diameter above bark (d, cm), tree height (h, m), taper (h/d) and stem volume including bark (V, m³).

The power of explanation of breast height diameter by itself is poor in this material of trees collected from all parts of Finland. Of the stem-to-stem variation 5 % is explained in pine, 19 % in spruce and 7 % in birch. The following equations are obtained.

		s	R^2
Pine	$BD = 237{,}7 + 311/d - 0{,}142\ d^2 + 0{,}0020\ d^3 + 65{,}11\ \ln(d)$ ..	28,4	0,046
Spruce	$BD = 439{,}2 + 0{,}478\ d - 0{,}0211\ d^2 - 21{,}362\ \ln(d)$	29,1	0,193
Birch	$BD = 509{,}9 - 102/d + 0{,}023\ d^2 - 0{,}0003\ d^3 - 8{,}78\ \ln(d)$	23,8	0,066

When, in addition to breast height diameter, other tree size indicators are adopted as independent variables the power of the equation is improved. It is then possible

to explain 20 % of the variation in pine, 25 % in spruce and 9 % in birch. However, the standard deviation from the regression equations is still 6,3 % of the average for the tree species in pine, 7,4 % in spruce and 4,7 % in birch.

Number of independent variables	Pine		Spruce		Birch	
	Variable added	R^2	Variable added	R^2	Variable added	R^2
1	h/d	,178	d	,189	$(h/d)^3$	,066
2	1/d	,195	h^3	,200	1/d	,072
3	ln (h)	,197	1/h	,206	h^3	,075
4	ln (V)	,199	ln (V)	,230	h^2	,083
5	h^3	,200	d^2	,246	h	,090
6			V^2	,251		

322. Age and growth rate as wood density indicators

Most tree species produce at a young age wide growth rings and exceptionally light-weight wood. Pine has around the pith a zone of juvenile wood in which the fibres are thin-walled and the wood density is low. When the tree ages the cambium layer begins to generate thicker-walled cells. The ring width decreases gradually and at the same time the average density of the stem grows with age. Over-aged trees start again to produce wood of lower density as a result of decreasing vigour. Density continues to increase until a later age in spruce and even birch than in pine.

It is thus possible to explain a certain proportion of the stem-to-stem variation of density on the basis of tree age. However, the degree of explanation remains small in a sample collected from all parts of the country. For pine, age alone explains 12 % (equation of five independent variables), for spruce 12 % (three independent variables) and for birch 35 % (two independent variables) of the variation. If the number of independent variables is limited to two the following equations are obtained.

		s	R^2
Pine	$BD = 415{,}3 - 446/a - 0{,}000336\ a^2$	27,0	0,096
Spruce	$BD = 357{,}7 + 0{,}378\ a - 0{,}000003\ a^3$	30,5	0,114
Birch	$BD = 358{,}2 + 30{,}91\ \ln(a) + 128/a$	19,2	0,353

Given the same conditions, wood density is always low in the growing stock of young forests compared with mature growing stock. However, in a material covering the whole country the result is distorted at least for pine by geographical variation. On the other hand, as will be seen later, the pine stock of the northernmost part of Finland, though aged, is of light density.

If tree size and age are taken as the variables and their interaction is taken into consideration, the power of the regression equation improves essentially. The equation then allows for the growth rate of the tree, an effect on density which is obvious in all tree species. The following results are arrived at through simple equations including breast height diameter and age.

		s	R^2
Pine	BD = 427,2 — 102,9 $(d/a)^2$ — 0,133 a	24,9	0,231
Spruce	BD = 328,4 — 56,48 ln (d/a) — 0,236 a	19,5	0,637
Birch	BD = 382,4 + 22,98 ln (a) + 2,46 a/d	18,6	0,391

The following figures give an idea of the effect of growth rate on the density of a 60-year-old tree. The faster the tree grows the lower will its density be. The effect is particularly clear in spruce the density of which is known to be strongly correlated with ring width (cf. O l e s e n 1975). The differences are small in birch.

Dbh at the age of 60 years, cm	Pine	Spruce	Birch
	Average density of stem, kg/m^3		
10	416	415	491
15	413	393	486
20	408	376	484
25	402	363	482
30	394	353	481
35	384	345	481

The regression equation is improved further when other size variables are added to age and breast height diameter. It is then possible to explain in a country-wide material 39 % of the stem-to-stem variation in pine, 65 % in spruce and 40 % in birch.

Number of independent variables	Pine		Spruce		Birch	
	Variable added	R^2	Variable added	R^2	Variable added	R^2
1	d/a	,188	ln (d/a)	,587	ln (a)	,348
2	ln (h/d)	,343	a	,637	a/d	,391
3	h/a	,361	h^3	,642	V	,397
4	h^3	,374	1/a	,646		
5	d/h	,380	V^2	,649		
6	V	,388				

323. Influence of geographical location on wood density

A considerable proportion of the variation of wood density is caused by environmental factors. The question at issue is above all how environmental factors affect growth rate. What is important is the growth rate of the individual tree, not so much the areal yield of the whole growing stock. For instance, the effects of the forest site type and stand density are indirectly taken into consideration fairly well when the interaction factor of tree size and age is the independent variable. After this, the site type and stand density are hardly of practical significance

Geographical location is an exception. The correlation between it and wood density arises partly from the differences in growth rate in various parts of Finland. But even after the effect of growth rate has been eliminated, consideration of the geographical location improves the accuracy of the equations.

Table 2. The material for testing the accuracy of the dry weight tables.
Taulukko 2. Kuivapainotaulukoitten tarkkuuden testaamiseen käytetty aineisto.

Variable — *Muuttuja*	Sample stand — *Koemetsikkö*								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Climatic zone — *Ilmastovyöhyke*	6	5	5	5	5	5	5	2	1
Forest site type — *Metsätyyppi*	MT	MT	VT	CT	OMT	MT	OMT	MT	CT
Tree species — Puulaji *	7—2—1	2—8—0	10—0—0	10—0—0	0—10—0	4—2—4	5—5—0	0—9—1	10—0—0
Number of stems/ha — *Runkoja/ha*	1 075	1 270	1 090	2 070	1 856	1 090	1 872	1 600	833
Basal area, m^2/ha — *Pohjapinta-ala, m^2/ha*	24	32	19	18	37	26	5	13	4
Volume, m^3/ha — *Puusto, m^3/ha*	172	311	151	109	292	241	21	95	24
Stem volume, dm^3 — *Rungon tilavuus, dm^3*	160	247	138	53	158	221	11	60	29
Tree height, m — *Puun pituus, m*	139	181	137	103	159	180	52	93	70
Dbh, cm — $D_{1,3}$ *cm*	164	176	143	99	150	173	60	100	81
Range of Dbh, cm — $D_{1,3}$*:n vaihteluväli, cm*	8—23	10—32	5—24	5—21	5—28	8—30	2—16	3—28	2—17

* Proportions of pine, spruce and birch, total 10 — *Männyn, kuusen ja koivun suhteelliset osuudet, yhteismäärältään 10*

The Finnish Forest Research Institute has studied earlier the variation of wood density in pine and spruce cordwood in different parts of Finland. The comparison was not of whole stems but of cordwood in roadside piles. The country was divided into zones in which the average density of cordwood was as follows (H a k k i l a 1968).

Zone	Pine		Spruce	
	Unextracted	Extracted	Unextracted	Extracted
	Density, kg/m³			
South	399	386	380	374
Central	410	395	396	389
North I	387	373	387	379
North II	375	357		
Average	398	385	383	377

According to this earlier study, the wood density of cordwood is at its highest in the central zone in Central Ostrobothnia, North Ostrobothnia and the Kainuu district. From there the density decreases towards both the north and the south. The differences between major areas are caused by the difference in growth conditions and the age class structure of the growing stock. Timber derives in the north from older trees than in the south. South Finnish cordwood is thus of lighter weight on average than Kainuu wood only because timber is harvested in the south from considerably younger forests. Comparison of coeval trees gives quite another result. K e l l o m ä k i (1979) calculated from the same material that the wood density of pine increases in Finland with the mean temperature, temperature sum and length of growth period.

When a dummy variable illustrating geographical location is added in the regression equations of the present material to the size and age variables, the degree of explanation increases further. The effect is very apparent for pine, but essentially smaller for spruce and birch. The trend of the effect is univocal after elimination of the effect of growth rate and age: within Finland's boundaries a northern location reduces and a southern increases the density of all tree species.

Equations based on tree size and age constitute the foundation for dry weight tables. Just as for the volume functions, they were compiled separately for small-sized and large-sized trees. The equations are given in Chapter 412. When they are used to estimate wood density on the basis of stem size and age, geographical location is taken into consideration through a separate correction. The following schedule gives an idea of the differences between the zones.

	Climatic zone					
	1	2	3	4	5	6+7
	Correction of density, kg/m³					
Pine:						
Short trees	—35,4	—15,9	0,0	0,0	0,0	+7,5
Tall trees	—36,2	—16,5	0,0	0,0	0,0	+8,9
Spruce:						
Short trees		—7,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tall trees		—6,9	0,0	0,0	+3,9	+7,7
Birch:						
Short trees	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	+5,7
Tall trees	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	+5,8

Another point to be stressed is that the above differences are valid only for comparisons of trees of similar size and age in different parts of Finland. Hence, they by no means illustrate as such the geographical differences between the timber assortments, for timber is generally made in the north of older and slower-growing trees than in the south. Geographical differences are smaller for timber.

33. Results of the wood density survey

This chapter presents data on the average *basic density of bark-free stem wood* in different parts of Finland. The results are unadjusted means calculated from the total material. If the number of observations in a certain table square was smaller than 10 trees, the result is not mentioned.

Table 3 shows the average density of pine, spruce and birch stems by age classes in the whole of Finland. Density grows with age. It is 11 % higher in the oldest age class of the table for all tree species than it is in the youngest trees.

Table 3. Wood density of pine, spruce and birch stems by age classes, average for the whole country. *Taulukko 3. Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys keskimäärin koko maassa puun iästä riippuen.*

Species — *Puulaji*	Age, a — *Ikä, a*				Average *Keskimäärin*
	—25	26—50	51—100	101+	
	Density, kg/m³ — *Tiheys, kg/m³*				
Pine — *Mänty*	378	398	411	413	403
Spruce — *Kuusi*	371	368	383	401	380
Birch — *Koivu*	452	476	489	504	483

The results are comparable with the wood density surveys made in the United States using a method that was the same in the main. Compared with larches, southern pines and Douglas fir the Finnish pine and spruce are considerably smaller in weight. Compared with most of the other common North American softwoods the density of Finnish softwoods is generally at least equally great.

WESTERN WOOD DENSITY SURVEY (1965)	Density, kg/m³
Western larch (*Larix occidentalis*)	480
Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*)	450
Western hemlock (*Tsuga heterophylla*)	420
Pasific silver fir (*Abies amabilis*)	400
Lodgepole pine (*Pinus contorta*)	380
Ponderosa pine (*Pinus ponderosa*)	370
White fir (*Abies concolor*)	370
Noble fir (*Abies procera*)	370
California red fir (*Abies magnifica*)	360
Western white pine (*Pinus monticola*)	360
Grand fir (*Abies grandis*)	350
Engelmann spruce (*Picea engelmannii*)	350
Sugar pine (*Pinus lambertiana*)	340
Western red cedar (*Thuja plicata*)	320

SOUTHERN WOOD DENSITY SURVEY (1965)	Density, kg/m³
Longleaf pine (*Pinus palustris*)	530
Slash pine (*Pinus elliottii*)	530
Loblolly pine (*Pinus taeda*)	470
Shortleaf pine (*Pinus echinata*)	470
WISCONSIN WOOD DENSITY SURVEY (Maeglin 1973)	
Tamarack (*Larix laricina*)	500
Jack pine (*Pinus banksiana*)	411
Black spruce (*Picea mariana*)	406
Eastern hemlock (*Tsuga canadensis*)	393
Red pine (*Pinus resinosa*)	377
White spruce (*Picea glauca*)	350
Balsam fir (*Abies balsamea*)	342
MAINE WOOD DENSITY SURVEY (Wahlgren et al. 1968)	
Tamarack (*Larix laricina*)	484
Black spruce (*Picea mariana*)	412
Red pine (*Pinus resinosa*)	391
Red spruce (*Picea rubens*)	381
Eastern hemlock (*Tsuga canadensis*)	376
White spruce (*Picea glauca*)	358
Balsam fir (*Abies balsamea*)	339
Eastern white pine (*Pinus strobus*)	331

Table 4 shows the variation in density according to the climatic zone. The table is confined to the age classes of the main part of the material. The density of pine stems in the northernmost zones is, despite slow growth, lower at a certain age than in the country's central and southern parts. This is due to the small percentage of summerwood in the northern pine. In spruce, on the other hand, density increases with the deceleration of growth towards the north, for there is no decrease in the percentage of summerwood similar to that in the pine.

Table 4. Wood density of pine, spruce and birch stems by climatic zones.
Taulukko 4. Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys ilmastovyöhykkeittäin.

Species — *Puulaji*	Age class, a *Ikäluokka, a*	Climatic zone — *Ilmastovyöhyke*					
		1	2	3	4	5	6
		Wood density, kg/m³ — *Tiheys, kg/m³*					
Pine — *Mänty*	26— 50	381	396	402	398	403	404
	51—100	382	392	410	412	414	412
Spruce — *Kuusi*	26— 50	..	..	..	370	365	367
	51—100	..	401	403	387	378	381
Birch — *Koivu*	26— 50	..	..	..	472	476	477
	51—100	..	..	..	492	485	490

Table 5. Wood density of pine, spruce and birch stems by site type and age classes in climatic zones 4—6 in southern Finland.

Taulukko 5. Männyn, kuusen ja koivun runkopuun puuaineen tiheys kasvupaikka- ja ikäluokittain Suomen eteläpuoliskon ilmastovyöhykkeissä 4—6.

Site class — *Kasvupaikkaluokka*	Age, a — *Ikä, a*			
	—25	26—50	51—100	101+
	Density, kg/m³ — *Tiheys, kg/m³*			
PINE — *MÄNTY*				
2	376	373	397	405
3	376	401	410	409
4	376	407	416	417
5	402	420	424	421
SPRUCE — *KUUSI*				
1	344	347	362	
2	352	358	369	375
3	380	378	383	401
4	391	388	403	413
BIRCH — *KOIVU*				
2	454	473	486	498
3	438	472	490	500
4	443	483	500	513

Table 5 shows the wood density at different sites according to the age of the tree in the climatic zones 4—6 of the southern half of the country. The site type classification in which the first class represents the most fertile site is:

Class 1: Grass-herb sites and peatlands with rich grass-herb vegetation.

Class 2: Upland sites with grass-herb vegetation and herb-rich peatlands. This class includes the *Oxalis-Myrtillus* site type (OMT).

Class 3: Damp upland sites and peatlands with vigorous tall-sedge and *Myrtillus* vegetation The class includes the *Myrtillus* site type (MT).

Class 4: Sub-dry forest sites and fairly poor peatlands with low-sedge and *Vaccinium* vegetation The class includes the *Vaccinium* site type (VT).

Class 5: Dry forest sites and poor peatlands. The class includes the *Calluna* site type (CT).

The wood density of softwoods is lowest on fertile sites as acceleration of growth has a density-lowering effect. For birch, on the other hand, site has little effect on density because the density of this species is determined primarily by age

It must be understood that Table 5 depicts stem density at a certain age. As regards timber, it should be noted that the more fertile the site, the younger the trees from which it is generally made. In practice, this heightens the effect of the site on timber density.

Table 6 shows the difference in wood density between mineral soils and peatlands in climatic zones 4—6 of South Finland. The density of pines and spruces growing on peatlands is throughout somewhat higher than it is for the trees growing on mineral

Table 6. Wood density of pine, spruce and birch stems on mineral soil and in swamps by age classes in climatic zones 4—6.

Taulukko 6. Männyn, kuusen ja koivun runkopuun puuaineen tiheys kangasmaalla ja suolla ikäluokittain ilmastovyöhykkeissä 4—6.

Site — *Kasvupaikka*	Age, a — *Ikä, a*			
	—25	26—50	51—100	101+
	Density, kg/m³ — *Tiheys, kg/m³*			
PINE — *MÄNTY*				
Mineral soil — *Kangasmaa*	374	398	413	416
Peatland — *Suo*	393	411	414	414
SPRUCE — *KUUSI*				
Mineral soil — *Kangasmaa*	366	364	378	393
Peatland — *Suo*	396	378	393	414
BIRCH — *KOIVU*				
Mineral soil — *Kangasmaa*	457	472	488	503
Peatland — *Suo*	448	480	489	495

Table 7. Wood density of pine, spruce and birch stems by development classes in climatic zones 4—6.

Taulukko 7. Männyn, kuusen ja koivun runkopuun puuaineen tiheys kehitysluokittain ilmastovyöhykkeissä 4—6.

Tree species — *Puulaji*	Development class — *Kehitysluokka*					
	0	2+3	4	5	6+7	8
	Density, kg/m³ — *Tiheys, kg/m³*					
Pine — *Mänty*	415	388	406	413	411	407
Spruce — *Kuusi*	406	380	373	373	382	378
Birch — *Koivu*	487	478	479	483	481	489

Kehitysluokka 0: Kitu- ja joutomaan metsiköt
Kehitysluokat 2 ja 3: Taimistot ja riukuasteen metsiköt mahdollisine ylispuineen
Kehitysluokka 4: Harvennusmetsiköt
Kehitysluokka 5: Väljennysmetsiköt
Kehitysluokat 6 ja 7: Uudistuskypsyyden saavuttaneet metsiköt ja suojuspuumetsiköt
Kehitysluokka 8: Vajaatuottoiset, kiireellisesti uudistettavat metsiköt.

soil. This is due, again, to the differences in the growth rate. For birch, another factor influencing the situation is the composition of the tree species. Peatlands grow almost solely white birch and mineral soils silver birch the density of which according to an earlier study is 14 kg/m³ higher (H a k k i l a 1966).

Table 7 shows the wood density of the growing stock of different development classes in the southern half of Finland. The class distribution is:

— *Development class 0* represents trees growing on poorly productive forest lands. The trees are exceptionally slow-growing and the wood density of the stem significantly higher than in other development classes. These forests are often left outside ordinary forestry.

— *Development classes 2 and 3* represent sapling stands. The trees are young and small-sized. The wood density of pine and birch is low due to the young age of the trees. In spruce the density does not differ significantly from the average values of the species.

— *Development class 4* includes the young thinning stands from the stage of the first commercial thinning on and *development class 5* the older thinning stands. Compared with classes 2 and 3, pine stems are significaltly higher in density. Spruce, on the other hand, is lighter in density. For birch the differences are small.

— *Development classes 6 and 7* consist of trees of mature forests and shelter tree stands, which can be harvested in the near future. Here the density is slightly above average.

— *Development class 8* includes low-yielding stands which should be regenerated as soon as possible. The density seems to be slightly higher than in the growing stock of thinning stands.

Table 8 presents the wood density according to breast height diameter and climatic zones. The effect of tree size is hardly perceivable in birch, but the differences are considerable for the softwoods. The density of sawtimber trees is distinctly lower than that of smaller-sized trees. The reason for this is that sawtimber trees grow faster on average.

Table 8. Wood density of pine, spruce and birch stems by breast height diameter classes and climatic zones.

Taulukko 8. Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys rinnankorkeusläpimittaluokittain eri ilmastovyöhykkeissä.

Climatic zone — *Ilmastovyöhyke*	Dbh, mm — $D_{1,3}$, mm				
	51—150	151—200	201—250	251—300	301+
	Density, kg/m³ — *Tiheys, kg/m³*				
PINE — *MÄNTY*					
1	405	381	376	366	369
2	401	404	400	384	381
3	419	412	404	402	395
4	406	408	407	403	391
5	407	418	410	401	400
6	401	413	414	406	404
SPRUCE — *KUUSI*					
2	417	401	384	376	
3	420	407	383	369	
4	399	389	372	364	338
5	384	376	371	359	354
6	379	375	373	371	357
BIRCH — *KOIVU*					
4	480	485	491		
5	481	480	482	485	
6	481	479	488	497	

4. STRUCTURE AND ACCURACY OF THE DRY WEIGHT TABLES

41. Basic factors of the tables

The dry weight (W, kg) of the stem is calculated in the tables as the product of the stem volume (V, m^3) and average basic density of wood (BD, kg/m^3). As the equations illustrating basic density represent knot-free wood, it was necessary to take the density-increasing effect (C_k) of knots into account separately in compiling the tables. A correction (C_b) also had to be made for the possible differences in the densities of bark and wood. The numerical values of the tables were thus obtained from the following formula:

$$W = V \cdot BD \cdot C_k \cdot C_b$$

411. Stem volume

Stem volume (V), including bark, is obtained in dm^3 by tree species using L a a s a s e n a h o's (1976) volume functions. When they are used the following factors of the tree must be measured:

ALTERNATIVE 1:
- Diameter at breast height, cm (d)
- Height, m (h)

ALTERNATIVE 2:
- Diameter at breast height, cm (d)
- Diameter at 6 m height, cm (d_6)
- Height, m (h)

The use of the tables is naturally simpler when the diameter at 6 m height is omitted. To improve the accuracy of the volume functions the diameter of the stem must be measured at two heights. Two sets of dry weight tables are therefore presented: the tables based on two variables according to alternative 1 on pp. 42—44 and those based on three variables according to alternative 2 on pp. 45—59. Trees shorter than 7,5 m are included in the first alternative only.

ALTERNATIVE 1:

Pine: $\ln (V) = -3{,}2890 + 1{,}9995 \ln (d) + 2{,}1395 \ln (h) - 1{,}1411 \ln (h - 1{,}3) - 0{,}002847\ d$

Spruce: $\ln (V) = -3{,}7544 + 1{,}8960 \ln (d) + 2{,}8979 \ln (h) - 1{,}6020 \ln (h - 1{,}3) - 0{,}007827\ d$

Birch: $\ln (V) = -4{,}4759 + 2{,}0851 \ln (d) + 4{,}0691 \ln (h) - 2{,}7375 \ln (h - 1{,}3) - 0{,}013311\ d$

ALTERNATIVE 2:

Pine: $V = 0{,}280943\ d^2 - 0{,}0154195\ d^2h - 0{,}00005757\ d^3h + 0{,}00036403\ d^2h^2 + 0{,}0966124\ (d^2 + d \cdot d_6 + d_6^2) + 0{,}0442386\ d_6^2\ (h - 6)$

Spruce: $V = 0{,}213229\ d^2 - 0{,}0157695\ d^2h - 0{,}00011922\ d^3h + 0{,}00046378\ d^2h^2 + 0{,}1353700\ (d^2 + d \cdot d_6 + d_6^2) + 0{,}0374839\ d_6^2\ (h - 6)$

Birch: $V = 0{,}237319\ d^2 - 0{,}0115661\ d^2h - 0{,}00012841\ d^3h + 0{,}00047540\ d^2h^2 + 0{,}099154\ (d^2 + d \cdot d_6 + d_6^2) + 0{,}0334986\ d_6^2\ (h - 6)$

412. Density of knot-free stem wood

The density of knot-free stem wood (BD) was calculated by means of equations formulated in kg per m³. Whatever the tree height, the following data are required in using the equations.

Diameter at breast height, cm (d)
Height, m (h)
Age, a (a)
Climatic zone (1 — 7)

However, for practical reasons age cannot be taken as a table factor to save space and simplify use. The tables are thus intended primarily for growing stock the growth rate of which does not differ essentially from the average. The table values can be expected to be too high for very fast-growing stems or too low for exceptionally slow-growing stems.

SHORT TREES (2,5 — 7,4 m)

Pine: $BD = 381{,}63 - 27{,}43\ (d/a)^2 + 62{,}44\ \ln\ (h/d) - 26{,}88\ \ln\ (h/a) + 0{,}526\ h$

Spruce: $BD = 307{,}21 - 67{,}35 \ln (d/a) - 0{,}270\ a + 0{,}001679\ h^3 + 167{,}7/a - 9{,}837\ V^2 + 17{,}79\ (d/a)^3$

Birch: $BD = 379{,}99 + 22{,}84\ \ln\ a + 2{,}771\ (a/d)$

TALL TREES (7,5 m OR MORE)

Pine: $BD = 341{,}77 + 92{,}930\ (h/d) - 193{,}00\ (h/a)^2 + 1{,}832\ (a/h)$

Spruce: $BD = 303{,}37 - 67{,}95 \ln (d/a) - 0{,}2795\ a + 0{,}619\ h + 19{,}13\ (d/a)^3$

Birch: $BD = 335{,}64 + 34{,}156 \ln a + 138{,}5/d$

The tables represent as such the greatest part of Finland. However, a correction is required for geographical location in the northernmost part, as mentioned in Chapter 42.

413. Corrections for knots and bark

When the bark-free volume of the stem is multiplied by the average density of knot-free wood the result is the dry weight of the stem excluding bark. The result is, however, erroneous in that the effect of knots is not taken into consideration. The necessary correction is made in the dry-weight tables.

The density in knots inside the stem and also in the wood around them is higher than in defect-free stem wood. The more the volume of knots in the tree, the greater the correction for them should be. However, because of the inadequacy of the basic data, an average correction which is based on earlier studies on knotwood proportion (cf. Nylinder and Hägglund 1955, Nylinder 1959, Hakkila 1969, Hakkila and Rikkonen 1970, Kärkkäinen 1977), must suffice. The correction coefficient used for all the tree species was +1,0 %.

As the dry weight tables were compiled for stems including bark the possible differences between the basic density of bark and wood must also be taken into consideration. According to Finnish studies, the density of spruce bark is practically the same as the density of wood. In pine bark is of relatively lighter weight than wood, in birch a little denser (cf. Hakkila 1967, Kärkkäinen 1976 a, 1976 b, 1977). In the dry weight tables the correction for bark was —2,0 % for pine, 0,0 % for spruce and +0,5 % for birch. The combined effect of knot and bark corrections is:

	Correction for knots %	Correction for bark %	Total correction %
Pine	+1.0	—2.0	—1.0
Spruce	+1.0	0.0	+1.0
Birch	+1.0	+0.5	+1.5

42. Use of the tables

Ilvessalo's (1947 and 1948) volume tables are the model for the present tables. The basic structure of the dry weight tables is the same. As their use is limited for the time being, however, they have been condensed by omitting trees over 40 cm in breast height diameter (except in the two-factor tables) and trees over 30 m high. Trees with a taper of more than 10 cm were also omitted from the tables.

The tables show the dry weight of the stem. They include *all the stem wood and bark above the topmost root collar which hampers cutting.* The tables do not include branchest

The tables on pp. 42—44 do not have the taper as a variable. The breast heigh. diameter of the tree 1,3 m above the ground must be measured using a levelling

classification to the nearest cm and the tree height must be measured using a levelling classification to the nearest metre. For instance, if the Dbh of a pine is 9 cm and height 7 m the dry weight of the stem is 10,5 kg.

The dry weight is obtained with a greater accuracy from the tables on pp. 45—59. In addition to breast height diameter and height the taper of the stem must also be known. The taper is the difference in centimetres between the diameter measured at breast height and at 6 m. For example, if the diameter of a birch at breast height is 25 cm and at 6 m is 21 cm (taper 4 cm) and the tree height is 20 m, the dry weight of the stem is 221 kg.

Two sources of error which arise from the variation of wood density affect the tables: growth rate and geographical location. As regards the former the tables represent average growth in accordance with K o i v i s t o's (1959) yield tables in forests that are treated by repeated selective thinnings. If the trees have grown significantly faster the table values are too high. A contrary error may originate with exceptionally slow-growing trees.

As to geographical location, the tables represent the average growing stock of the southern part of Finland. *A correction* which is the product of the joint effect of the exceptional wood density of northern trees and slow growth *must be made in the table values for the northernmost climatic zones.* In the north the result is corrected downwards for pine and upwards for spruce. No correction is performed for birch.

	Correction, %
Pine in climatic zone 1	—7
Pine in climatic zone 2	—3
Spruce in climatic zone 2	+5
Spruce in climatic zone 3	+5

An example of the correction of the table value in the north is a pine in climatic zone 1, breast height diameter 25 cm, height 16 m and taper 6 cm. According to the table its weight in South Finland is 147 kg. When deducting the 7 % correction for the climatic zone from this figure the final result is 137 kg.

43. Accuracy of the tables

The accuracy of the tables was tested in nine selected stands in each of which the dry weight of 28—30 trees was measured. The data on the test stands are presented in Table 2.

When dry weight tables are used for an individual tree the range of error is fairly wide (Fig. 3). The error is relatively the greatest for small-sized trees, due largely to the rough classification. Taper is not measured at all for trees of under 7,5 m and the spacing of the height and diameter classes is for practical reasons also relatively great. In addition, the density of small-sized trees varies over a broad range depending on the growth rate.

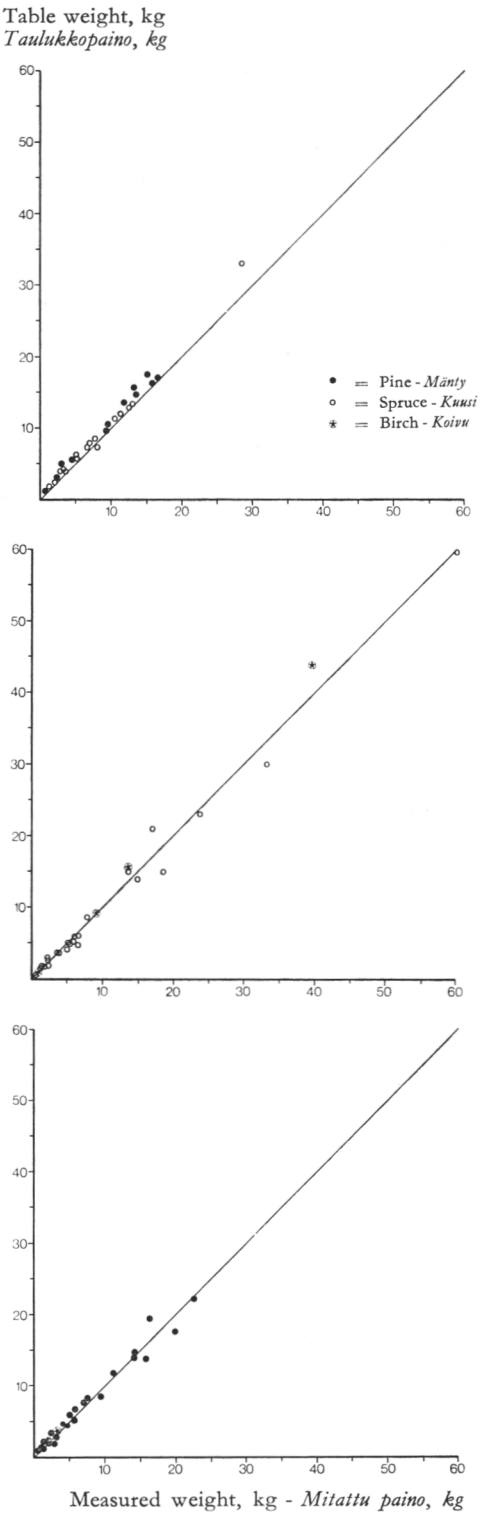


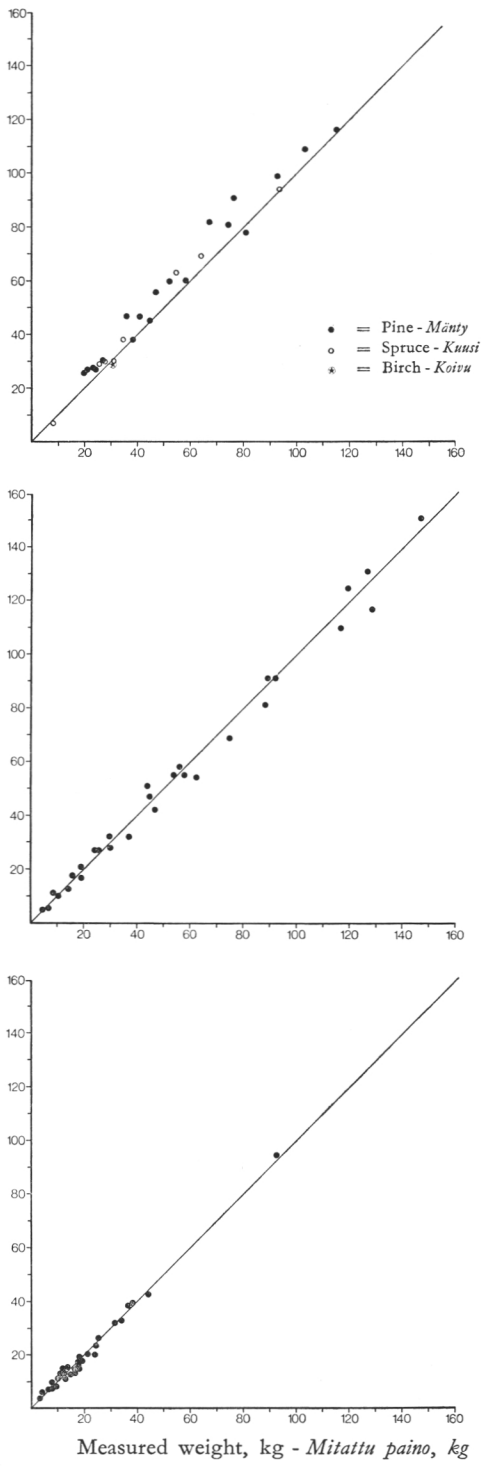
Figure 3. Test results of the accuracy of the dry weight tables in nine stands.

Kuva 3. Kuivapainotaulukoitten tarkkuutta osoittavia testituloksia yhdeksästä eri metsiköstä.

Test stand 7. A fast-growing young pine-spruce stand at Padasjoki in central Finland. Site (OMT) better than average, untypical for pine. Mean stem volume 11 dm³. Table error: pine +38,0, spruce +11,5 per cent.

Test stand 8. A typical spruce-birch stand at Kivalo in northern Finland on good soil (MT). Mean stem volume 60 dm³. Table error: spruce —3,1, birch +9,8 per cent.

Test stand 9. A young pine stand at Laanila in northernmost Finland on poor soil (CT). Mean stem volume 29 dm³. Table error: pine +1,5 per cent.

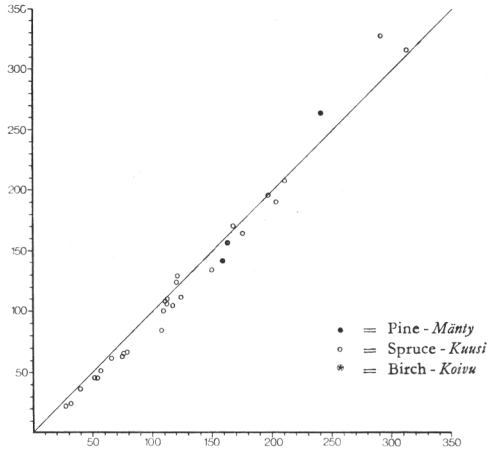


Test stand 1. A fast-growing mixed stand at Ruotsinkylä on the sourhern coast. Mean stem volume 172 dm³. Site (MT) better than average for pine, average for spruce and birch. Table error: pine +10,3, spruce +6,5, birch —4,6 per cent.

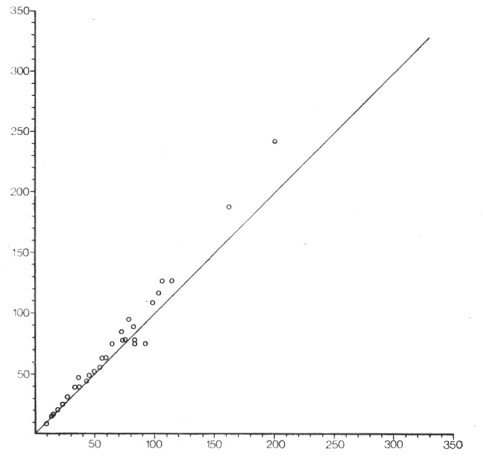
Test stand 3. A typical pine stand (VT) at Vilppula in central Finland. Mean stem volume 151 dm³. Table error: pine —0,9 per cent.

Test stand 4. A poor pine stand (CT) at Parkano in south-western Finland. Mean stem volume 53 dm³. Table error: pine —0,7 per cent.

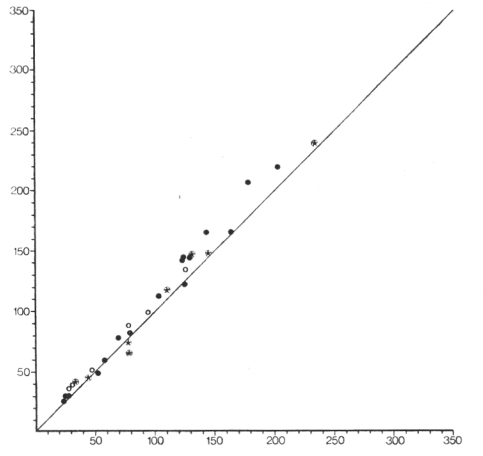
Table weight, kg
Taulukkopaino, kg



Test stand 2. A typical spruce stand at Vilppula in central Finland on good soil (MT). Mean stem volume 247 dm³. Table error: pine —0,1 and spruce —3,6 per cent.



Test stand 5. A 55-year old spruce stand at Padasjoki in central Finland on fertile soil (OMT). Mean stem volume 158 dm³. Table error: spruce +10,0 per cent.



Test stand 6. A 55-year old mixed stand at Padasjoki in central Finland on good soil (MT). Mean stem volume 221 dm³. Table error: pine +9,0, spruce +10,7 and birch +2,4 per cent.

Measured weight, kg - *Mitattu paino, kg*

Figure 3. Continued from pages 32 and 33.
Kuva 3. Jatkoa sivuilta 32—33.

Table 9. The accuracy of the dry weight tables in nine test stands.
Taulukko 9. Kuivapainotaulukoitten tarkkuus yhdeksässä eri koemetsikössä.

Stand *Metsikkö*	Site type *Metsätyyppi*	Stem size *Rungon koko*		Error per stem *Runkokohtainen virhe*	Error per stand *Metsikkökohtainen virhe*	
		dm³	kg	$\bar{x} \pm s$, kg	kg*	%
1	MT	160	46,9	+4,5± 4,5	+127,2	+ 9,0
2	MT	247	127,9	—4,0±11,5	+119,1	— 3,1
3	VT	138	54,8	—0,5± 4,4	— 14,5	— 0,9
4	CT	53	21,0	—0,1± 1,5	— 4,2	— 0,7
5	OMT	158	66,8	+6,7±10,7	+200,4	+10,0
6	MT	221	96,0	+7,0± 8,7	+210,0	+ 7,3
7	OMT	11	2,9	+0,8± 1,0	+ 16,0	+21,1
8	MT	60	11,1	—0,1± 1,6	— 1,5	— 0,5
9	CT	29	7,0	+0,1± 1,0	+ 2,9	+ 1,5
Average — *Keskimäärin* ..		120	48,3	+1,6± 5,0	+ 47,6	+ 3,4

* The sum of the errors of 28—30 stems in each stand. — *Virheitten summa kussakin 28—30 rungon metsikössä.*

However, the tables are intended for great quantities of wood, e.g. for an entire stand. Accuracy must be estimated primarily against this background (Table 9).

The result per stand is fully satisfactory in stands 2, 3, 4, 8 and 9. They all represent cases in which pine or spruce grows on a forest site characteristic of the tree species.

The error is essentially greater in stands 1, 5 and 6. These stands have grown faster than the average rate on account of the good site type. The trees in question are either pine growing on a *Myrtillus* site or spruce growing on an *Oxalis-Myrtillus* site. The table values are 7—10 % too high in every case.

The error is unacceptable, 21 %, in stand 7. This is a very young stand on a vigorous spruce site in which the stem size is only 11 dm³. The wood density is exceptionally low especially in pine and this leads to over-valuation in the tables.

The table errors conform to expectations. According to the relatively small test material the tables are serviceable at current accuracy requirements for stands growing at an average rate. For exceptionally fast-growing stands they give too high weights as they do not make sufficient allowance for the effect of the growth rate of the tree on wood density. This must be remembered when using the tables.

Growth rate could be added to the tables as a new correction factor. This was actually done experimentally in a certain phase of the present project. However, the correction of growth rate would increase the number of field measurements and complicate the application of the tables so much that it cannot be justified in the present situation. If a broader use for dry weight tables emerges later, growth rate as a correction factor will have to be reconsidered.

LITERATURE

ERICSON, B. 1969. A mercury immersion method for determining the wood density of increment core sections. Stat. Skogsforsk.Inst. Avdeln. skogsprod. Rapp. nr 1.

HAKKILA, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Commun. Inst. For. Fenn. 61.5. 98 p.

— 1967. Vaihtelumalleja kuoren painosta ja painoprosentista. Summary: Variation patterns of bark weight and bark percentage by weight. Commun. Inst. For. Fenn. 62.5. 37 p.

— 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. Lyhennelmä: Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. Commun. Inst. For Fenn. 66.8. 60 p.

— 1969. Weight and composition of the branches of large Scots pine and Norway spruce trees. Lyhennelmä: Järeitten mänty- ja kuusipuitten oksien paino ja koostumus. Commun. Inst. For. Fenn. 67.6. 37 p.

— 1970. Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder (*Alnus incana*). Lyhennelmä: Harmaalepän puuaineen tiheys, kuoriprosentti ja kuiva-ainesisältö. Commun. Inst. For. Fenn. 71.5. 33 p.

— & RIKKONEN, P. 1970. Kuusitukit puumassan raaka-aineena. Summary: Spruce saw logs as raw material of pulp. Folia For. 92. 16 p.

ILVESSALO, Y. 1947. Pystypuiden kuutioimistaulukot. Summary: Volume tables for standing trees. Commun. Inst. For. Fenn. 34.4. 150 p.

— 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. Helsinki. 148 p.

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

KELLOMÄKI, S. 1979. On geoclimatic variation in basic density of Scots pine wood. Seloste: Ilmastotekijöiden vaikutus männyn puuaineen tiheyteen. Silva Fenn. 13 (1): 55—64.

KOIVISTO, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Commun. Inst. For. Fenn. 51.8. 49 p.

KOLKKI, O. 1966. Taulukoita ja karttoja Suomen lämpöoloista kaudelta 1931—1960. Tables and maps of temperature in Finland during 1931—1960. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan. Nide 65. osa 1a. 42 p.

KUUSELA, K. 1979. Valtakunnan metsien inventointi metsäekosysteemin seurantajärjestelmänä. Esitelmä Suomalaisen Tiedeakatemian kokouksessa 14. 05. 1979. 12 p.

— & HAKKILA, P. 1979. Steps towards biomass estimates in the Finnish National Forest Inventory. Joint Working Party on Forest Economics and Statistics. Ad hoc meeting on Forest Resource Assessment. Geneva 21—23. 5. 1979. 8 p.

KÄRKKÄINEN, M. 1976 a. Havutukkien kuoren tiheys ja kosteus. Summary: Density and moisture content of bark in pine and spruce logs. Commun. Inst. For. Fenn. 87.5. 24 p.

— 1976 b. Puun ja kuoren tiheys ja kosteus sekä kuoren osuus koivun, kuusen ja männyn oksissa.

Summary: Density and moisture content of wood and bark, and bark percentage in the branches of birch, Norway spruce and Scots pine. Silva Fenn. 10 (3): 212—236.
— 1977. Puu, sen rakenne ja ominaisuudet. Helsinki. 442 p.
— 1979. Haapakokopuiden tekniset ominaisuudet. Summary: Techical properties of whole aspen trees. Manuscript.
LAASASENAHO, J. 1976. Männyn, kuusen ja koivun kuutioimisyhtälöt. Moniste. Helsinki. 109. p.
MAEGLIN, R. R. 1973. Wisconsin wood density survey. U.S.D.A. Forest Serv. Pap. FPL 202. 40 p.
— & WAHLGREN, H. E. 1972. Western wood density survey. U.S.D.A. Forest Serv. Res. Pap. FPL 183. 24 p.
NYLINDER, P. 1959. Synpunkter på produktionens kvalitet. Rapp. Uppsats. Instn. Virkeslära Skogshögsk. U2. 19 p.
— 1961. On träd- och vedegenskapers inverkan på råvolymvikt och flytbarhet. I Tall. Summary: Influence of tree features and wood properties on basic density and buoyancy. I Scots pine (*Pinus silvestris*). Inst. virkeslära Skogshögsk. Uppsats. nr R 35.
— & HÄGGLUND, E. 1955. Ståndorts- och trädegenskapers inverkan på utbyte och kvalitet vid framställning av sulfitmassa av gran. Summary: The influence of stand and tree properties on yield and quality of suplhite pulp of Swedish spruce (*Picea excelsa*). Medd. Stat. Skogsforskn. Inst. 44. 11.
OLESEN, P. O. 1976. The interrelation between basic density and ring width of Norway spruce Det forstlige Forsøgsvaesen i Danmark, beretning nr 281, bd. XXXIV, h. 4: 341—359.
PRONIN, D. 1971. Estimating tree specific gravity of major pulpwood species of Wisconsin. U.S.D.A. Forest Serv. Res. Pap. FPL 161. 16 p.
Southern Wood Density Survey. 1965 Status Report. 1965. U.S. Forest Serv. Res. Pap. FPL-26. 38 p.
WAHLGREN, H. E., BAKER, G., MAEGLIN, R. R. & HART, A. C. 1968. Survey of specific gravity of eight Maine conifers. U.S.D.A. Forest Serv. Res. Pap. FPL 95. 12 p.
— ,HART, A. C. & MAEGLIN, R. R. 1966. Estimating tree specific gravity of Maine conifers. U.S.D.A. Forest Serv. Res. Pap. FPL 61. 22 p.
— & SCHUMANN, D. R. 1972. Properties of major southern pines. Part I: Wood Density Survey. U.S.D.A. Forest Serv. Res. Pap. FPL 176. 55 p.
Western Wood Density Survey. Report Number 1. 1965. U.S. Forest Serv. Res. Pap. FPL-27. 58 p.
WILHELMSEN, G. & VESTJORDET, E. 1974. Preliminary dry wood weight tables for merchantable stems and stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Norway. Medd. Norsk Inst. Skogforskn. 31. 5: 181—240.
YOUNG, H. E. 1976. A summary analysis of weight table studies. Working Party on the Mensuration of the Forest Biomass 54.01. XVIth IUFRO Congress. Oslo. 30 p.
— 1978. Forest biomass inventory. Symposium on Complete Tree Utilization of Southern Pine. New Orleans. 9 p.
— 1979. Biomass inventory: A personnel odyssey. Forest Resources Inventory Workshop. Fort Collins, Colorado. 7 p.

LYHENNELMÄ

MÄNTY-, KUUSI- JA KOIVURUNKOJEN PUUAINEEN TIHEYS JA KUIVAPAINOTAULUKOT

Tavoite ja aineisto

Tutkimus, joka on tehty Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian ja metsänarvioimisen tutkimusosastojen yhteistyönä, liittyy metsänarvioimisen tutkimusosaston pystypuitten kuutioimisyhtälöitten laatimiseen tähtäävään työhön. Käsillä olevan osatutkimuksen tavoitteena on selvittää mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheyden (kuiva-tuoretiheys, kg/m^3) vaihtelua sekä laatia edellä mainittuja kuutioimisyhtälöitä ja puuaineen tiheystietoja hyväksi käyttäen runkojen kuivapainotaulukot.

Pääaineisto (taulukko 1) on peräisin valtakunnan metsien inventoinnin traktiverkostolta. Edustavan näytteen saamiseksi aineisto on kerätty pystypuista. Se sisältää yhteensä 1 643 mäntyä, 1 368 kuusta ja 310 koivua, joista kustakin otettiin puuaineen tiheyden määrittämiseksi rinnankorkeudelta läpi koko rungon ulottuva kairanlastu.

Edellisen lisäksi kerättiin 150 männyn, 116 kuusen ja 40 koivun aineisto, jolla selvitettiin kaadetuista koepuista rungon keskimääräisen tiheyden ja rinnankorkeudelta mitatun tiheyden välinen riippuvuus. Pääaineistosta mitattu rinnankorkeustiheys muunnettiin sitten rungon keskimääräiseksi tiheydeksi sivun 16 kaavoilla.

Kuivapainotaulukoitten valmistuttua niitten tarkkuutta testattiin vielä 264 kaadetun koepuun erillisellä aineistolla, joka kerättiin yhteensä 9 metsiköstä. Koepuitten mitattua kuivapainoa verrattiin taulukkoarvoihin.

Kasvavan puuston puuaineen tiheys

Tiedot mänty-, kuusi- ja koivurunkojen tiheydestä edustavat koko puustoa, eivät siis suoranaisesti hakkuissa poistettavaa puustoa. Koska puuaineen tiheys on yleensä korkein hidaskasvuisissa rungoissa, se on alaharvennuksen periaatetta noudattaen korjatussa puutavarassa hieman suurempi kuin tämän tutkimuksen mukaan koko puustossa keskimäärin. Suomen kaikki osat huomioon ottaen puuaineen tiheys on mäntyrungossa 403, kuusirungossa 380 ja koivurungossa 483 kg/m^3. Runkojen välinen hajonta on vastaavasti 28, 32 ja 24 kg/m^3 eli 7,0, 8,5 ja 4,9 % puulajin keskiarvosta.

Puuaineen tiheyden vaihtelua kuvataan puulajeittain regressioyhtälöillä, joissa selittäjinä ovat puun kokoa, ikää ja kasvunopeutta kuvaavat muuttujat. Koko maan käsittävässä aineistossa voidaan näin selittää männyllä 39, kuusella 65 ja koivulla 40 % runkojen välisestä vaihtelusta.

Puuaineen tiheys kasvaa iän mukana. Kaikilla puulajeilla tiheys oli alle 25-vuotiaissa rungoissa 11 % alhaisempi kuin yli 100-vuotiaissa rungoissa (taulukko 3).

Pohjoisen puusto eroaa tiheydeltään Suomen eteläosan puustosta. Männyllä tiheys on pienestä kesäpuupitoisuudesta johtuen alhaisimmillaan pohjoisissa ilmastovyöhykkeissä 1 ja 2 (vrt. kuva 1). Kuusella sen sijaan tiheys on hitaan kasvun seurauksena pohjoisissa vyöhykkeissä 2 ja 3 korkeampi kuin Etelä-Suomessa. Koivulla ei näytä olevan merkitseviä eroja (taulukot 4 ja 7).

Viljavalla kasvupaikalla tiheys on kaikissa ikäluokissa alhaisempi kuin karujen maitten hidaskasvuisissa rungoissa. Esimerkiksi OMT:n ja VT:n puustojen välinen ero puuaineen tiheydessä on Etelä-Suomen 50—100 vuotiaissa metsissä männyllä 5, kuusella 8 ja koivulla 3 % (taulukko 5).

Soilla havupuitten, etenkin kuusen tiheys on hitaan kasvun seurauksena alhaisempi kuin kangasmaalla. Koivulla vastaavaa eroa ei ole. Soilla kasvavan hieksen tiheys on näet yleensä alhaisempi kuin kangasmaitten rauduksen niin että suo- ja kangasmaitten koivujen kasvunopeuserot peittyvät puulajisuhteitten eroihin (taulukko 6).

Kehitysluokittain puuston tiheys myötäilee eroja kasvunopeudessa ja ikäluokissa. Puusto on kevyintä taimistoissa ja riukuasteen metsissä kehitysluokissa 2 ja 3 ja raskainta vastaavasti kitu- ja joutomaitten kehitysluokassa 0 (taulukko 7).

Kuitupuun kokoiset rungot ovat keskimäärin tiheämpiä kuin tukkipuut, sillä tukkipuun koon saavuttavat rungot ovat yleensä suhteellisen hyvin kasvaneita. Erot ovat erityisen selvät pohjoisessa. Esimerkiksi rinnankorkeusläpimitaltaan yli 25 cm:n rungot ovat 5—15 cm:n runkoihin verrattuina pohjoisimmissa ilmastovyöhykkeissä männyllä 5—9 ja kuusella 10—12 % kevyempiä tiheydeltään. Etelässä erot ovat pienempiä. Koivuilla taas tiheys on tukkirungoissa hieman korkeampi, mutta erot ovat vähäisiä (taulukko 7).

Kuivapainotaulukot

Kuivapainotaulukoissa on käytetty esikuvana Ilvessalon (1947 ja 1948) pystypuitten kuutioimistaulukoita. Ne on kuitenkin laadittu niin rinnankorkeusläpimitta-, pituus- kuin kapenemisluokkienkin suhteen jossain määrin suppeammiksi. Taulukot perustuvat Laasasenahon (1976) kuutioimisyhtälöihin (sivu 29) ja toisaalta puuaineen tiheyttä kuvaaviin yhtälöihin (sivu 29). Taulukoihin on tehty lisäksi rungon sisäisistä oksista ja kuoren tiheydestä aiheutuvat korjaukset (sivu 30).

Taulukoista nähdään rungon kuivapaino kuori mukaan luettuna. Ne sisältävät *rungon kaiken puuaineen ja kuoren, joka jää ylimmän katkaisua haittaavan juurenniskan yläpuolelle.* Taulukot eivät sisällä oksien painoa.

Sivujen 42—44 taulukoita käytettäessä ei tarvitse tuntea rungon kapenemista. Lyhyille puille, joitten pituus jää alle 7,5 m:n, käytetään aina näitä taulukoita. Niitä varten on mitattava puun rinnankorkeusläpimitta 1,3 m:n etäisyydeltä maanpinnasta 1 cm:n sekä puun pituus 1 m:n tasaavaa luokitusta käyttäen. Jos esimerkiksi männyn rinnankorkeusläpimitta on 9 cm ja pituus 7 m, rungon kuivapaino on taulukon mukaan 10,5 kg.

Suurempaa tarkkuutta vaadittaessa kuivapaino saadaan sivujen 45—59 taulukoista. Rinnankorkeusläpimitan ja pituuden lisäksi on tunnettava myös rungon kapenemisluokka, joka tarkoittaa rinnankorkeudelta ja 6 m:n korkeudelta mitattujen läpimittojen erotusta senttimetreinä. Jos esimerkiksi koivun rinnankorkeusläpimitta on 25 cm, pituus 20 m ja kapeneminen 4 cm, rungon kuivapaino on 221 kg.

Taulukkotulokseen vaikuttaa kaksi puuaineen tiheyden vaihteluun liittyvää virhelähdettä; kasvunopeus ja maantieteellinen sijainti. Edellisen suhteen taulukot edustavat Koiviston (1959) kasvutaulukoitten mukaista toistuvin harvennuksin käsiteltyjen metsien keskimääräistä kasvua. Jos puut ovat kasvaneet merkittävästi nopeammin, taulukkoarvot ovat liian korkeita. Poikkeuksellisen hidaskasvuisilla puilla saattaa syntyä päinvastainen virhe. Taulukot näyttävät soveltuvan täysin tyydyttävästi keskimääräisiin puustoihin, kun niillä pyritään metsikkökohtaisiin tietoihin. Nopeakasvuisissa rehevien maitten puustoissa, erityisesti nuorissa viljelymetsissä, ne antavat liian korkeita kuivapainoja (taulukko 9). Tarkkuutta voitaisiin tältä osin parantaa ottamalla korjaustekijänä mukaan myös kasvunopeus. Se johtaisi kuitenkin lisämittauksiin kentällä ja hankaloittaisi taulukoitten käyttöä

siinä määrin, että kasvunopeuden korjaamista ei voi pitää nykytilanteessa tarkoituksenmukaisena. Mikäli taulukoille syntyy myöhemmin laajempaa käyttöä, tätä kysymystä on harkittava uudelleen.

Taulukot on laadittu edustamaan sellaisenaan Suomen eteläosan keskimääräistä puustoa. *Pohjoisimmissa ilmastovyöhykkeissä* (vrt. kuva 1) *taulukkoarvoihin on tehtävä korjaus*, joka on pohjoisen puun poikkeuksellisen puuaineen tiheyden sekä hitaan kasvun yhteisvaikutuksen tulos. Pohjoisessa tulosta korjataan männyllä alaspäin ja kuusella ylöspäin. Koivulla korjausta ei suoriteta.

	Korjaus, %
Mänty ilmastovyöhykkeessä 1	—7
Mänty ilmastovyöhykkeessä 2	—3
Kuusi ilmastovyöhykkeessä 2	+5
Kuusi ilmastovyöhykkeessä 3	+5

Esimerkkinä taulukkoarvon korjauksesta pohjoisessa on ilmastovyöhykkeellä 1 sijaitseva mänty, jonka rinnankorkeusläpimitta on 25 cm, pituus 16 m ja kapeneminen 6 cm. Taulukon mukaan sen paino on Etelä-Suomessa 147 kg. Kun tästä vähennetään ilmastovyöhykkeen korjaus 7 %, saadaan lopulliseksi tulokseksi 137 kg.

THE DRY WEIGHT TABLES

Page

Use of the tables 30

Two-factor tables (Dbh and height):

Pine 42
Spruce 43
Birch 44

Three-factor tables (Dbh, height and taper):

Pine 45
Spruce 50
Birch 55

KUIVAPAINOTAULUKOT

Sivu

Suomenkielinen käyttöohje lyhennelmässä 38

Rinnankorkeusläpimitan ja pituuden mukaiset taulukot:

Mänty 42
Kuusi 43
Koivu 44

Rinnankorkeusläpimitan, pituuden ja kapenemisen mukaiset taulukot:

Mänty 45
Kuusi 50
Koivu 55

PINE – *MÄNTY*

ALL TAPER CLASSES – *KAIKKI KAPENEMISLUOKAT*

Dbh $D_{1,3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Bole weight, kg – *Rungon paino, kg*																										
4	1,5	1,7	2,0	2,3																							
5	2,3	2,7	3,2	3,7	4,3	4,9	5,5	6,2																			
6	3,3	3,8	4,4	5,1	5,8	6,6	7,4	8,3	9,2																		
7	4,4	5,0	5,8	6,7	7,6	8,6	9,6	10,7	11,8	13,1	14,3																
8	5,6	6,4	7,4	8,5	9,6	10,8	12,1	13,4	14,8	16,3	17,8	19,4															
9	7,0	8,0	9,2	10,5	11,8	13,3	14,8	16,4	18,1	19,8	21,6	23,5	25,5														
10	8,6	9,7	11,1	12,6	14,3	16,0	17,8	19,7	21,6	23,7	25,8	28,0	30,3	32,7													
11	10	11	13	15	16	18	21	23	25	27	30	32	35	38	41												
12	12	13	15	17	19	22	24	27	29	32	35	38	41	44	47	50											
13	14	15	17	20	22	25	28	31	34	37	40	43	47	50	54	58	61										
14		18	20	23	26	29	32	35	38	42	46	49	53	57	61	65	69	74									
15		20	23	26	29	33	36	40	43	47	51	56	60	64	69	73	78	83	88								
16		23	26	29	33	37	41	45	49	53	58	62	67	72	77	82	87	93	98	104							
17			29	33	37	41	45	50	54	59	64	69	75	80	85	91	97	103	109	115	121						
18			32	37	41	46	50	55	60	66	71	77	82	88	94	100	107	113	120	127	134	140					
19			36	41	45	50	56	61	67	72	78	84	91	97	104	110	117	124	131	139	146	154	161				
20				45	50	55	61	67	73	79	86	92	99	106	113	120	128	136	143	151	160	167	175	183			
21				49	55	61	67	73	80	87	94	101	108	116	123	131	139	147	156	165	174	182	190	198	207		
22				53	60	66	73	80	87	94	102	109	117	126	134	142	151	160	169	178	188	197	206	215	224	233	
23					65	72	79	86	94	102	110	118	127	136	145	154	163	173	182	193	203	212	222	231	241	251	260
24					70	78	85	93	102	110	119	128	137	146	156	166	176	186	196	207	218	228	238	249	259	269	280
25					76	84	92	101	109	119	128	138	148	157	168	178	189	200	211	222	234	245	256	266	277	288	300
26						90	99	108	118	127	137	148	158	169	180	191	202	214	226	238	251	262	273	285	297	308	320
27						96	106	116	126	136	147	158	169	180	192	204	216	228	241	254	268	280	292	304	316	329	341
28						104	113	124	134	146	157	169	181	193	205	217	230	243	257	271	285	298	311	323	336	349	363
29							121	132	143	155	167	180	192	205	218	231	245	259	273	288	303	316	330	343	357	371	385
30							129	140	152	165	178	191	204	218	232	246	260	275	290	305	321	335	350	364	378	393	408
31							137	149	162	175	189	202	217	231	245	260	276	291	307	323	340	355	370	385	400	416	431
32							145	158	171	186	200	214	229	244	260	275	291	308	324	342	359	375	391	407	423	439	455
33								167	181	196	211	226	242	258	274	291	308	325	342	360	379	396	412	429	446	463	479
34								177	191	207	223	239	256	272	289	307	324	342	361	380	399	417	434	452	469	487	505
35								186	202	218	235	252	269	287	305	323	341	360	380	400	420	438	456	475	493	512	530
36								196	212	230	247	265	283	301	320	339	359	379	399	420	441	460	479	498	518	537	556
37									223	241	260	278	297	316	336	356	377	397	419	440	463	483	503	523	543	563	583
38									234	253	272	292	312	332	352	373	395	416	439	461	485	506	526	547	568	589	610
39									246	265	285	306	327	348	369	391	413	436	459	483	507	529	551	572	594	616	638
40									257	278	299	320	342	364	386	409	432	456	480	505	530	553	575	598	621	643	666
41										290	312	334	357	380	403	427	451	476	501	527	554	577	601	624	648	671	695
42										303	326	349	373	397	421	446	471	497	523	550	577	602	626	651	675	700	724
43										316	340	364	389	414	439	465	491	518	545	573	602	627	652	678	703	729	754
44										330	354	379	405	431	457	484	511	539	567	596	626	653	679	705	732	758	785
45											369	395	422	448	476	504	532	561	590	620	651	679	706	733	761	788	816
46											384	411	439	466	495	524	553	583	613	645	677	705	733	762	790	818	847
47											399	427	456	484	514	544	574	605	637	669	703	732	761	791	820	849	879
48											414	443	473	503	534	564	596	628	661	694	729	760	790	820	850	881	911
49												460	491	522	553	585	618	651	685	720	756	787	818	850	881	912	944
50												477	509	541	573	607	641	675	710	746	783	815	848	880	912	945	977

SPRUCE – *KUUSI*

ALL TAPER CLASSES – *KAIKKI KAPENEMISLUOKAT*

Dbh	Tree height, m – *Puun pituus, m*																											
$D_{1,3}$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
cm	Bole weight, kg – *Rungon paino, kg*																										
4	1,5	1,8	2,1	2,4																							
5	2,2	2,6	3,0	3,5	4,1	4,6																					
6	3,0	3,5	4,1	4,8	5,5	6,3	7,1																				
7	3,9	4,6	5,4	6,2	7,2	8,2	9,2	10,3	11,4																		
8	4,9	5,7	6,7	7,8	9,0	10,2	11,5	12,9	14,3	15,8	17,3																
9	5,9	7,0	8,2	9,5	10,9	12,4	14,0	15,7	17,4	19,2	21,1	23,0															
10	7,1	8,3	9,7	11,3	13,0	14,8	16,7	18,7	20,7	22,9	25,1	27,4	29,8														
11	8	9	11	13	15	17	19	21	24	26	29	32	34	37													
12	9	11	13	15	17	19	22	25	27	30	33	36	40	43	46												
13		12	14	17	19	22	25	28	31	35	38	42	45	49	53	57											
14		14	16	19	22	25	28	32	35	39	43	47	51	55	60	64	69										
15		15	18	21	25	28	32	36	40	44	48	53	57	62	67	72	77										
16		17	20	24	27	31	35	40	44	49	53	58	63	69	74	80	86	92									
17			22	26	30	34	39	44	48	54	59	64	70	76	82	88	95	101	109								
18			25	29	33	38	43	48	53	59	64	70	77	83	90	96	104	111	119	127							
19			27	31	36	41	46	52	58	64	70	77	63	90	98	105	113	121	130	138	149						
20				34	39	45	50	56	63	69	76	83	90	98	106	114	123	131	141	150	161	170					
21				37	42	48	54	61	68	75	82	90	98	106	114	123	132	142	152	162	174	183	193				
22				40	46	52	59	66	73	80	88	97	105	114	123	132	142	152	163	174	187	197	207	217			
23					49	56	63	70	78	86	95	103	112	122	132	142	152	163	175	187	201	211	222	233	244		
24					52	59	67	75	83	92	101	110	120	130	141	151	163	174	187	199	214	226	237	248	260	272	
25					56	63	71	80	89	98	107	118	128	139	150	161	173	186	199	212	228	240	252	265	277	290	302
26						67	76	85	94	104	114	125	136	147	159	171	184	197	211	225	242	255	268	281	294	307	321
27						71	80	90	100	110	121	132	144	156	168	181	195	209	223	238	257	270	284	297	311	326	340
28						76	85	95	106	116	128	140	152	164	178	191	206	220	236	252	271	285	300	314	329	344	359
29							90	100	111	123	135	147	160	173	187	201	217	232	249	265	286	301	316	331	347	363	378
30							95	106	117	129	142	155	168	182	197	212	228	244	261	279	301	316	332	348	365	381	398
31							100	111	123	136	149	163	177	191	207	222	239	256	274	293	316	332	349	366	383	400	418
32								117	129	142	156	171	185	201	217	233	251	269	288	307	331	348	365	383	401	420	438
33								122	135	149	163	178	194	210	227	244	262	281	301	321	346	364	382	401	420	439	458
34									142	156	171	187	203	219	237	255	274	294	314	336	361	380	399	419	438	458	479
35									148	163	178	195	212	229	247	266	286	306	328	350	377	396	416	437	457	478	499
36										169	185	202	220	238	257	277	298	319	341	364	392	413	434	455	476	498	520
37										175	192	210	229	248	268	288	310	332	355	379	408	429	451	473	495	518	541
38											200	219	238	258	278	299	322	344	369	394	424	446	468	491	514	538	562
39											209	228	248	268	289	310	334	357	382	408	440	463	486	510	534	558	583
40												237	257	278	299	322	346	370	396	423	456	479	504	528	553	578	604
41												245	266	288	310	333	358	383	410	438	472	496	521	547	572	599	625
42													275	298	321	345	370	397	424	453	488	513	539	565	592	619	646
43													285	308	332	356	383	410	438	468	504	530	557	584	612	639	668
44														318	343	368	395	423	453	483	520	547	575	603	631	660	689
45														328	354	380	408	436	467	498	536	564	593	622	651	680	711
46															365	391	420	450	481	513	552	581	611	640	671	701	732
47															376	403	433	463	495	528	569	598	629	659	690	722	754
48																415	445	476	509	544	585	616	647	678	710	742	775
49																427	458	490	524	559	601	633	665	697	730	763	797
50																	471	503	538	574	617	650	683	716	750	784	818

BIRCH — *KOIVU*

ALL TAPER CLASSES — *KAIKKI KAPENEMISLUOKAT*

Dbh	Tree height, m — *Puun pituus, m*																											
$D_{1,3}$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
cm	Bole weight, kg — *Rungon paino, kg*																										
4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,6	2,9																				
5	2,6	2,8	3,0	3,3	3,7	4,1	4,5	5,0																			
6	3,8	4,0	4,3	4,8	5,3	5,9	6,5	7,1	7,8	8,5																	
7	5,2	5,5	6,0	6,6	7,2	7,8	8,7	9,6	10,5	11,5	12,5	13,6															
8	6,8	7,2	7,8	8,6	9,3	10,1	11,3	12,5	13,7	14,9	16,2	17,6	19,0														
9	8,7	9,1	9,9	10,9	11,9	12,9	14,2	15,7	17,2	18,7	20,4	22,1	23,9	25,7													
10	10,7	11,1	12,2	13,4	14,5	15,7	17,4	19,2	21,0	22,9	25,0	27,1	29,2	31,5	33,7												
11	13	14	15	16	17	18	20	23	25	27	30	32	35	37	40												
12	15	16	18	19	21	22	24	27	29	32	35	38	41	44	47	51											
13	18	19	21	23	24	26	28	31	34	37	41	44	48	51	55	59	63										
14		21	24	26	28	30	32	36	39	43	47	51	55	59	63	68	72	77									
15			27	30	32	35	37	41	45	49	53	58	63	67	72	77	83	88	93								
16				34	36	39	42	46	51	55	60	65	71	76	82	87	93	99	105	112							
17					40	43	47	52	57	62	67	73	79	85	91	98	104	111	118	125	132						
18						47	52	57	63	69	75	81	88	95	101	109	116	123	131	139	156						
19						52	57	63	70	76	83	90	97	104	112	120	128	136	144	153	162	172	180				
20						57	63	70	76	83	91	99	107	115	123	132	140	149	159	168	178	189	198	207			
21						62	69	76	83	91	99	108	116	125	134	144	153	163	173	184	195	206	216	226	236		
22						68	75	83	91	99	108	117	126	136	146	156	167	177	188	200	211	224	235	245	256		
23							81	89	98	107	117	127	137	147	158	169	180	192	204	216	229	242	254	266	277	289	
24							87	96	106	116	126	137	148	159	170	182	194	207	220	233	247	261	274	286	299	312	325
25							94	104	114	124	135	147	158	170	183	196	209	222	236	250	265	281	294	308	321	335	349
26							101	111	122	133	145	157	170	183	196	209	223	238	252	268	284	300	315	329	344	359	374
27							107	118	130	142	155	168	181	195	209	223	238	254	269	286	303	321	336	351	367	383	399
28							114	126	138	151	165	178	193	207	222	238	254	270	287	304	322	341	357	374	391	407	424
29								134	147	160	175	189	205	220	236	252	269	287	304	323	342	362	379	397	414	432	450
30								142	156	170	185	201	217	233	250	267	285	303	322	342	362	383	402	420	439	458	477
31								150	164	179	195	212	229	246	264	282	301	320	340	361	382	405	424	444	464	484	504
32								158	173	189	206	223	241	259	278	298	318	338	359	381	403	427	447	468	489	510	531
33								166	182	199	217	235	254	273	293	313	334	355	377	400	424	449	470	492	514	536	559
34								174	191	209	228	247	266	287	307	329	351	373	396	420	445	472	494	517	540	563	586
35									200	219	238	259	279	300	322	345	368	391	415	441	467	494	518	542	566	590	615
36									210	229	250	271	292	314	337	361	385	409	435	461	488	517	542	567	592	617	643
37									219	239	261	283	305	328	352	377	402	427	454	482	510	540	566	592	618	645	672
38										250	272	295	318	342	367	393	419	446	474	502	532	563	590	617	645	673	701
39										260	283	307	332	357	382	409	436	464	493	523	554	587	615	643	672	701	730
40										270	295	319	345	371	398	426	454	483	513	544	576	610	639	669	699	729	759
41											306	332	358	385	413	442	472	502	533	565	599	634	664	695	726	757	788
42											317	344	372	400	429	459	489	520	553	586	621	658	689	721	753	785	818
43											329	357	385	414	444	475	507	539	573	608	644	682	714	747	780	814	848
44												369	399	429	460	492	525	558	593	629	666	706	739	773	807	842	877
45												382	412	443	475	509	543	577	613	650	689	730	764	799	835	871	907
46												394	426	458	491	525	561	596	633	672	711	754	789	826	862	900	937
47													439	473	507	542	578	615	654	693	734	778	815	852	890	928	967
48													453	487	523	559	586	634	674	715	757	802	840	878	917	953	997

PINE – *MÄNTY*

Dbh $D_{1,3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																							
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 1 cm																						
5	5,4	5,7	6,1	6,4																			
6	7,6	8,0	8,5	8,9	9,4	9,9																	
7	10,4	11,0	11,7	12,4	13,2	13,9	14,6																
8	13,3	14,2	15,0	15,9	16,8	17,7	18,6	19,5															
9	16,9	18,0	19,2	20,3	21,5	22,7	24,0	25,3	26,6														
10	20,9	22,3	23,7	25,2	26,7	28,2	29,9	31,5	33,2	34,9													
11		27	28	30	32	34	36	38	39	41	44												
12		32	34	36	38	40	43	45	47	51	55												
13		37	39	42	44	47	49	52	55	58	60	63	66										
14		43	46	48	51	54	57	61	64	67	70	74	77	80									
15			52	56	59	62	66	69	73	77	81	85	89	93	98								
16			59	63	67	70	74	78	83	87	91	96	100	105	110	115							
17			67	71	75	79	84	88	93	98	103	108	113	119	124	130	136						
18			75	79	84	89	94	99	104	110	116	121	127	133	139	146	152	159					
19				88	93	98	104	110	115	121	128	134	140	147	154	161	168	175	182				
20				97	103	109	115	121	128	135	141	148	156	163	170	178	186	194	202	211			
21				107	114	120	127	134	141	148	156	163	171	179	188	196	205	214	223	232	242		
22					124	131	138	146	154	162	170	178	187	195	204	214	223	233	242	252	262	272	
23					136	143	151	159	168	176	185	194	204	213	223	233	244	254	265	276	287	298	310
24					148	156	165	173	182	192	201	211	222	232	243	254	265	276	288	300	312	325	337
25						169	178	188	198	208	218	229	240	251	263	275	287	299	312	325	338	352	366
26						183	193	203	213	224	236	247	259	271	284	297	310	323	337	351	365	380	395
27							208	219	230	242	254	266	279	292	305	319	333	348	362	377	393	409	425
28							223	235	247	260	273	286	299	313	328	342	357	373	389	405	421	438	456
29								252	265	279	293	307	321	336	352	368	384	400	417	435	453	471	489
30								270	284	298	313	328	344	360	376	393	411	428	446	465	484	504	524
31									302	317	333	349	366	383	400	418	436	455	474	494	514	534	555
32									321	337	353	370	388	406	424	443	462	482	502	523	544	566	588
33										357	374	392	411	430	449	469	489	510	532	554	576	599	622
34										378	396	415	434	454	475	496	517	539	561	584	608	632	656
35											418	438	458	479	501	523	546	569	592	616	641	666	692
36											441	462	483	505	528	551	575	599	624	649	675	701	728
37												486	509	532	555	580	605	630	656	682	709	737	765
38												511	535	559	584	609	635	662	689	717	745	774	803
39													561	587	613	639	666	694	723	752	781	811	842
40													589	615	642	670	698	727	757	787	818	850	882
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 2 cm																						
5	4,6	4,8																					
6	6,6	6,9	7,1	7,4																			
7	9,2	9,6	10,1	10,6	11,0	11,5																	
8	12,0	12,6	13,2	13,8	14,4	15,0	15,7																
9	15,4	16,2	17,0	17,9	18,8	19,7	20,6	21,6															
10	19,2	20,2	21,3	22,4	23,6	24,8	26,1	27,3	28,6														
11	23	24	26	27	28	30	31	33	34	36													
12	28	29	31	33	34	36	38	40	42	44	46												
13	32	34	36	38	40	42	44	46	48	51	54	56											
14		40	42	45	47	50	52	55	57	60	63	66	69										
15		46	49	52	54	57	60	63	66	70	73	77	80	84									
16		53	55	58	62	65	68	72	75	79	83	87	91	95	99								
17		59	63	66	70	74	77	81	85	90	94	99	103	108	113	118							
18			71	75	79	83	87	92	96	101	106	111	116	122	127	133	139	145					
19			79	83	87	92	97	102	107	112	118	123	129	135	141	147	154	160	167				
20			87	92	97	102	108	113	119	125	131	137	144	150	157	164	171	178	186	193			
21			96	102	107	113	119	125	131	138	145	152	159	166	174	181	189	197	206	214	223		
22				111	118	124	130	137	144	151	158	166	174	182	190	198	207	215	224	233	243	252	
23				122	129	136	143	150	158	165	173	182	190	199	208	217	226	236	246	256	266	277	287
24				133	140	148	156	164	172	180	189	198	207	217	227	237	247	258	268	279	291	302	314
25					153	161	169	178	187	196	205	215	225	236	246	257	268	280	291	303	316	328	341
26					165	174	183	192	202	212	222	233	244	255	266	278	290	303	315	328	342	355	369
27						188	198	208	218	229	240	251	263	275	287	300	313	327	340	354	369	383	398
28						202	213	224	235	246	258	270	283	296	309	323	337	351	366	381	396	412	428
29							229	230	252	265	278	291	304	318	332	347	362	378	394	410	426	443	461
30							245	258	271	284	298	312	326	341	356	372	388	405	422	439	457	475	494
31								275	288	302	317	332	347	363	379	396	413	431	449	467	486	505	525
32								292	307	322	337	353	369	386	403	421	439	457	476	496	516	536	557
33								310	325	341	358	374	391	409	427	446	465	485	505	526	547	568	590
34									345	362	379	396	414	433	452	472	492	513	534	556	578	601	624
35									365	382	400	419	438	458	478	499	520	542	564	587	610	634	658
36									385	404	423	442	462	483	504	526	548	571	595	619	643	668	694
37										425	446	466	487	509	531	554	578	602	626	651	677	703	730
38										448	469	491	513	534	559	583	608	634	659	685	712	739	767
39										471	493	516	539	563	587	612	638	665	692	719	747	776	806
40											518	541	566	591	616	643	670	697	725	754	784	814	844

PINE – *MÄNTY*

Dbh $D_{1,3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																						
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 3 cm																						
5	3,9																						
6	5,8	5,9	6,0																				
7	8,2	8,5	8,7	9,0	9,2																		
8	10,8	11,2	11,6	11,9	12,3	12,7	13,1																
9	14,1	14,6	15,2	15,7	16,3	17,0	17,6	18,3															
10	17,7	18,4	19,2	20,0	20,8	21,7	22,6	23,6	24,6														
11	21	22	23	24	26	27	28	29	30	31													
12	26	27	28	30	31	32	34	35	37	39	40												
13	31	32	33	35	37	38	40	42	44	45	47	49											
14	36	37	39	41	43	45	47	49	52	54	56	59	61										
15	41	43	45	48	50	52	55	58	60	63	66	69	72	75									
16	47	49	52	54	57	60	63	66	69	72	75	78	82	85	89								
17		56	59	62	65	68	71	75	78	82	86	90	94	98	102	106							
18		63	67	70	73	77	81	85	89	93	97	102	106	111	116	121	126	131					
19		71	74	78	82	86	90	95	99	104	108	113	118	124	129	134	140	146	152				
20		79	83	87	91	96	101	105	110	116	121	127	132	138	144	151	157	163	170	177			
21		87	92	96	101	106	111	117	123	128	134	141	147	154	160	167	174	182	189	197	204		
22		96	101	106	111	117	122	128	135	141	147	154	161	168	176	183	191	199	207	215	224	233	
23		105	111	116	122	128	134	141	148	155	162	170	177	185	193	202	210	219	228	237	247	256	266
24		115	121	127	133	140	147	154	162	169	177	185	194	202	211	221	230	240	250	260	270	281	291
25			132	138	145	152	160	168	176	184	193	202	211	221	230	240	251	261	272	283	294	306	318
26			143	150	158	166	174	182	191	200	209	219	229	239	250	261	272	283	295	307	319	332	345
27			154	162	170	179	188	197	206	216	226	237	248	259	270	282	294	306	319	332	345	359	373
28			166	175	184	193	202	212	223	233	244	255	267	279	291	304	317	330	344	358	372	387	402
29				189	198	208	218	229	240	251	263	275	288	301	314	328	342	356	371	386	401	417	434
30				203	213	223	234	246	258	270	283	296	309	323	337	352	367	382	398	415	431	448	466
31				217	228	239	250	262	275	288	301	315	330	345	360	375	391	408	425	442	460	478	496
32					242	254	267	280	293	307	321	336	351	367	383	399	416	433	451	470	489	508	527
33					257	270	283	297	311	325	341	357	373	389	406	424	442	460	479	498	518	539	559
34						287	301	315	330	346	362	378	395	413	431	449	468	488	508	528	548	570	592
35						304	318	334	350	366	383	400	418	437	456	475	495	516	537	558	580	603	626
36							337	353	370	387	405	423	442	462	482	502	523	545	567	590	613	636	661
37							355	373	390	408	427	447	467	487	508	530	552	574	598	622	646	671	696
38								393	411	430	450	471	491	513	535	558	581	605	629	654	680	706	733
39								413	433	453	474	495	517	540	563	587	611	636	662	688	714	742	770
40									455	476	498	520	543	567	591	616	642	668	695	722	750	779	808
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 4 cm																						
6	5,1	5,1																					
7	7,4	7,5	7,6																				
8	9,8	10,0	10,2	10,4	10,6																		
9	12,9	13,2	13,5	13,9	14,2	14,6	15,0																
10	16,3	16,8	17,3	17,8	18,4	19,0	19,6	20,3															
11	20	21	21	22	23	24	24	25	26														
12	24	25	26	27	28	29	30	31	32	34													
13	29	30	31	32	33	35	36	37	39	40	42												
14	34	35	36	38	39	41	43	44	46	48	50	52	54										
15	39	41	42	44	46	48	50	52	54	57	59	61	64	67	69								
16	45	47	49	51	53	55	57	60	62	65	68	71	74	77	80	83							
17	51	53	55	58	60	63	66	69	72	75	78	81	85	88	92	96	100						
18	58	60	63	66	69	72	75	78	82	85	89	93	97	101	105	109	114	118					
19	64	67	70	73	77	80	84	88	91	95	100	104	108	113	118	122	127	133	138				
20	72	75	78	82	86	90	94	98	102	107	112	117	122	127	132	138	143	149	155	161			
21		83	87	91	95	100	104	109	114	119	125	130	136	142	148	154	160	167	173	180	187		
22		92	96	100	105	110	115	120	126	131	137	143	149	156	162	169	176	183	191	198	206	214	
23		101	105	110	116	121	127	132	138	145	151	158	165	172	179	187	195	203	211	219	228	236	245
24		110	116	121	127	133	139	145	152	159	166	173	181	189	197	205	214	222	231	241	250	260	270
25		120	126	132	138	145	151	158	166	173	181	189	198	206	215	224	233	243	253	263	274	284	295
26		131	137	143	150	157	164	172	180	188	197	206	215	224	234	244	254	265	275	286	298	309	321
27			148	155	163	170	178	187	195	204	213	223	233	243	254	264	275	287	299	311	323	336	349
28			160	168	176	184	193	202	211	221	231	241	252	263	274	286	298	310	323	336	349	363	377
29			173	181	190	199	208	218	228	238	249	260	272	284	296	309	312	335	349	363	377	392	407
30			186	195	204	214	224	234	245	256	268	280	292	305	318	332	346	360	375	390	406	422	439
31				209	219	229	240	251	262	274	286	299	313	326	340	355	370	385	401	417	434	451	468
32				222	233	244	255	267	280	292	305	319	333	348	363	378	394	410	427	444	462	480	498
33					248	260	272	285	298	311	325	340	355	370	386	402	419	436	454	472	491	510	529
34						276	289	302	316	330	345	361	377	393	410	427	445	463	482	501	521	541	562
35						292	306	320	335	350	366	382	399	416	434	452	471	491	511	531	551	573	595
36						310	324	339	355	371	387	405	423	441	460	479	498	519	540	561	583	605	628
37							342	358	375	392	410	428	446	465	485	506	526	548	570	592	615	639	663
38							361	378	395	413	432	451	471	491	512	533	555	578	601	624	648	673	699
39							381	398	417	436	455	475	496	517	539	561	584	608	632	657	682	708	735
40								419	438	458	479	500	521	544	567	590	614	639	665	691	717	744	772

PINE – *MÄNTY*

Dbh $D_{1,3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																							
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 5 cm																						
7	6,7	6,7																					
8	9,0	9,0	9,0	9,1																			
9	11,9	11,9	12,1	12,3	12,4	12,6																	
10	15,1	15,3	15,6	15,9	16,3	16,6	17,0																
11	18	19	19	20	20	21	21	22															
12	23	23	24	24	25	26	27	28	29														
13	27	28	28	29	30	31	32	33	34	35	37												
14	32	33	34	35	36	37	39	40	41	43	44	46	48										
15	37	38	39	41	42	44	45	47	49	51	53	55	57	59									
16	42	44	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	66	68	71	74							
17	49	50	52	54	56	58	61	63	65	68	71	74	76	79	83	86	89						
18	55	57	60	62	64	66	69	72	75	78	81	84	88	91	95	99	103	107					
19	62	64	66	69	72	75	78	81	84	88	91	95	99	103	107	111	116	120	125				
20	69	72	74	77	81	84	87	91	95	99	103	107	112	116	121	126	131	136	141	147			
21	77	80	83	86	90	94	98	102	106	110	115	120	125	130	136	141	147	153	159	165	171		
22	84	88	91	95	99	103	108	112	117	122	127	133	138	144	150	156	162	169	175	182	189	196	
23	93	97	101	105	109	114	119	124	130	135	141	147	153	159	166	173	180	187	194	202	210	218	226
24		106	110	115	120	125	131	137	143	149	155	162	168	175	183	190	198	206	214	223	231	240	249
25		116	121	126	131	137	143	149	156	163	170	177	185	192	200	209	217	226	235	244	254	264	274
26		126	131	137	143	149	156	163	170	177	185	193	201	210	219	228	237	247	257	267	277	288	299
27		137	143	149	155	162	169	177	185	193	201	210	219	228	238	248	258	268	279	290	301	313	325
28		148	154	161	168	175	183	191	200	209	218	227	237	247	258	268	279	291	302	314	327	339	352
29			167	174	182	190	198	207	216	226	236	246	256	267	279	290	302	315	327	340	354	368	382
30			180	188	196	205	214	223	233	243	254	265	276	288	301	313	326	339	353	367	382	397	412
31			192	201	210	219	229	239	250	261	272	284	296	309	322	335	349	363	378	393	409	425	441
32			205	214	224	234	244	255	267	279	291	303	316	330	344	358	373	388	403	419	436	453	470
33				229	239	250	261	272	284	297	310	323	337	351	366	381	397	413	430	447	464	482	501
34				243	254	265	277	289	302	316	330	344	359	374	389	406	422	439	457	475	493	512	532
35				258	269	282	294	307	321	335	350	365	381	397	413	430	448	466	485	504	523	543	564
36				273	285	298	312	326	340	355	371	387	403	420	438	456	475	494	513	533	554	575	597
37					302	316	330	344	360	376	392	409	426	444	463	482	502	522	543	564	586	608	631
38					319	333	348	364	380	397	414	432	450	469	489	509	530	551	573	595	618	642	666
39					336	351	367	384	401	419	437	455	475	495	516	537	558	581	604	627	651	676	701
40						370	387	404	422	441	460	480	500	521	543	565	588	611	635	660	685	711	738
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 6 cm																						
8	8,2	8,2																					
9	10,9	10,9	10,9																				
10	14,0	14,1	14,2	14,3																			
11	17	17	18	18	18	18																	
12	21	21	22	22	23	23	24	24															
13	25	26	26	27	27	28	29	29	30														
14	30	31	31	32	33	34	35	36	37	38	39												
15	35	36	37	38	39	40	41	43	44	45	47	49											
16	40	41	43	44	45	47	48	50	51	53	55	57	59	61									
17	46	48	49	50	52	54	56	58	60	62	64	66	69	71	74	77							
18	53	54	56	58	60	62	64	66	69	71	74	77	80	83	86	89	92	96					
19	59	61	63	65	67	70	72	75	78	81	84	87	90	93	97	101	104	108	112				
20	66	68	71	73	76	78	81	84	88	91	95	98	102	106	110	114	119	123	128	133			
21	74	76	79	82	85	88	91	95	98	102	106	111	115	119	124	129	134	139	145	150	156		
22	81	84	87	90	94	97	101	105	109	113	118	123	128	133	138	143	149	155	161	167	173	179	
23	90	93	96	100	104	108	112	116	121	126	131	136	142	147	153	159	166	172	179	186	193	200	207
24	98	102	106	110	114	119	123	128	133	139	145	151	157	163	169	176	183	190	198	206	214	222	230
25	108	112	116	120	125	130	135	141	147	153	159	165	172	179	186	194	202	210	218	226	235	244	253
26	117	121	126	131	136	142	148	154	160	167	174	181	188	196	204	212	221	230	239	248	258	267	278
27	127	132	137	142	148	154	161	167	174	182	189	197	205	214	222	231	241	250	260	270	281	292	303
28		143	148	154	161	167	174	182	189	197	205	214	223	232	241	251	261	272	283	294	305	317	329
29		155	161	167	174	181	189	197	205	214	223	232	242	252	262	273	284	295	307	319	331	344	357
30		167	174	181	188	196	204	212	221	231	241	251	261	272	283	295	307	319	332	345	359	373	387
31		179	186	193	201	210	219	228	238	248	258	269	280	292	304	316	329	342	356	370	384	399	415
32		191	199	207	215	224	234	244	254	265	276	288	300	312	325	338	352	366	381	396	411	427	443
33			212	221	230	240	250	260	271	283	295	307	320	333	347	361	376	391	406	422	439	456	473
34			225	235	245	255	266	277	289	301	314	327	341	355	370	385	400	416	433	450	467	485	503
35			239	249	260	271	283	295	307	320	334	348	362	377	393	409	425	442	460	478	496	515	534
36				264	276	288	300	313	326	340	354	369	385	400	417	434	451	469	488	507	526	546	567
37				280	292	304	317	331	345	360	375	391	407	424	442	460	478	497	516	536	557	578	600
38					308	322	336	350	365	381	397	414	431	448	467	486	505	525	546	567	589	611	634
39					326	340	354	369	385	402	419	437	455	473	493	513	533	554	576	598	621	644	668
40					343	358	373	389	406	424	442	460	479	499	519	540	562	584	607	630	654	679	704

PINE – *MÄNTY*

Dbh $D_{1.3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																							
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 7 cm																						
9	10,2																						
10	13,1	13,0																					
11	16	16	16	16																			
12	20	20	20	20	21																		
13	24	24	24	25	25	25																	
14	28	29	29	30	30	31	31	31															
15	33	34	34	35	36	37	37	38	39	41													
16	38	39	40	41	42	43	44	45	46	48	49												
17	44	45	46	47	48	50	51	53	54	56	58	60											
18	50	51	53	54	56	57	60	61	63	65	67	69	72	74									
19	56	58	59	61	63	65	67	69	71	74	76	79	82	85	88	91							
20	63	65	67	69	71	73	76	78	81	84	87	90	93	97	100	104	108						
21	71	73	75	77	80	82	85	88	91	95	98	102	105	109	113	118	122	127					
22	78	80	83	86	88	91	95	98	102	105	109	113	118	122	127	131	136	141					
23	86	89	92	95	98	101	105	109	113	117	122	126	131	136	141	147	152	158	164				
24	95	98	101	104	108	112	116	120	125	130	135	140	145	151	157	163	169	176	182				
25	104	107	111	115	119	123	128	133	138	143	148	154	160	167	173	180	187	194	201	209			
26	113	117	121	125	130	135	140	145	151	157	163	169	176	183	190	197	205	213	221	230			
27	123	127	132	136	141	147	152	158	164	171	178	185	192	200	208	216	224	233	242	252	261		
28	134	138	143	148	154	160	166	172	179	186	193	201	209	217	226	235	244	254	264	274	285	295	
29	145	150	155	161	167	173	180	187	194	202	210	219	228	237	246	256	266	276	287	298	310	322	334
30	156	162	168	174	180	187	194	202	210	219	228	237	246	256	267	277	288	300	311	323	336	349	362
31		173	179	186	193	201	209	217	226	235	245	255	265	276	287	298	310	322	335	348	361	375	389
32		185	192	199	207	215	224	233	242	252	262	273	284	295	307	319	332	345	359	373	387	402	417
33			205	213	221	230	239	249	259	269	280	292	304	316	329	342	355	369	384	399	414	430	446
34			218	227	236	245	255	265	276	287	299	311	324	337	351	365	379	394	409	425	441	458	475
35			232	241	251	261	271	282	294	306	318	331	345	359	373	388	404	420	436	452	470	488	506
36				256	266	277	288	300	312	325	338	352	366	381	397	412	429	446	463	481	499	518	537
37				271	282	293	305	318	331	345	359	374	389	405	421	438	455	472	491	510	529	549	569
38					298	310	323	337	351	365	380	396	412	428	445	463	481	500	520	540	560	581	602
39					315	328	342	356	370	386	402	418	435	453	471	489	509	529	549	570	592	614	636
40					332	346	360	375	391	407	424	441	459	478	497	516	537	558	579	601	624	647	671
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 8 cm																						
10	12,3																						
11	15	15																					
12	19	19	19	19																			
13	22	22	22	23	23																		
14	27	27	27	27	28	28																	
15	31	32	32	33	33	34	34																
16	36	37	37	38	39	39	40	41															
17	42	43	43	44	45	46	47	48	49														
18	48	49	50	51	52	53	54	56	57	59	61												
19	54	55	56	57	59	60	62	64	65	67	70	72											
20	61	62	63	65	67	68	70	72	75	77	80	82	85										
21	68	69	71	73	75	77	79	82	84	87	90	93	96	100									
22	75	77	79	81	83	86	89	91	94	98	101	104	108	112	116								
23	83	85	88	90	93	96	100	102	105	109	113	117	121	125	130	135	140						
24	92	94	97	99	103	106	109	113	117	121	125	130	135	140	145	150	156	162	168				
25	101	103	106	109	113	117	121	125	129	134	139	144	149	155	160	166	173	179	186	193			
26	110	113	116	120	124	128	132	137	142	147	152	158	164	170	177	183	190	198	205	213			
27	119	123	127	131	135	140	145	150	155	161	167	173	180	187	194	201	209	217	225	234	242		
28	130	133	137	142	147	152	157	163	169	175	182	189	196	204	212	220	228	237	246	255	265		
29	141	145	149	154	159	165	171	177	184	191	198	206	214	222	231	240	249	259	269	279	289	300	
30	152	157	161	167	173	179	185	192	199	207	215	223	232	241	250	260	270	281	292	303	315	327	339
31	163	168	173	179	185	192	199	207	215	223	232	241	250	260	270	280	291	303	314	326	339	352	365
32		180	186	192	199	206	214	222	230	239	249	259	269	279	290	301	313	325	338	351	364	378	392
33		192	198	205	213	221	229	238	247	256	266	277	288	299	311	323	335	348	362	376	390	405	420
34		205	211	219	227	235	244	254	264	274	285	296	308	320	332	345	359	373	387	402	417	432	448
35			225	233	242	251	260	270	281	292	304	316	328	341	354	368	382	397	412	428	444	461	478
36			239	248	257	267	277	288	299	311	323	336	349	363	377	392	407	423	439	456	473	490	509
37				263	272	283	294	305	317	330	343	357	371	385	400	416	432	449	466	484	502	521	540
38				278	289	300	311	323	336	350	364	378	393	409	425	441	458	476	494	513	532	552	572
39					305	317	330	343	356	370	385	400	416	432	449	467	485	504	523	543	563	584	605
40					322	334	348	362	376	391	406	423	440	457	475	493	512	532	552	573	595	617	640

PINE – *MÄNTY*

Dbh $D_{1,3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																						
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 9 cm																						
11	14																						
12	18	18																					
13	21	21	21																				
14	25	25	25	25																			
15	30	30	30	30	30																		
16	35	35	35	35	36	36																	
17	40	40	41	41	42	42	43																
18	46	46	47	48	48	49	50	51															
19	52	52	53	54	55	56	57	59	60														
20	58	59	60	61	63	64	65	67	69	71													
21	65	66	68	69	71	72	74	76	78	80	83	85											
22	73	74	75	77	79	81	83	85	88	90	93	96	99										
23	80	82	84	86	88	90	93	95	98	101	105	108	112	115									
24	89	90	92	95	97	100	103	106	109	113	117	121	125	129	134								
25	97	99	102	104	107	110	114	117	121	125	129	134	138	143	148	154							
26	106	109	111	114	118	121	125	129	133	138	143	148	153	158	164	170	176						
27	116	119	122	125	129	133	137	141	146	151	156	162	168	174	180	187	194	201	209				
28	126	129	132	136	140	145	149	154	160	165	171	177	184	191	198	205	213	221	229	237	246		
29	137	140	144	148	152	157	163	168	174	180	187	194	201	208	216	224	233	241	250	260	270	280	
30	148	152	156	160	165	171	177	183	189	196	203	211	219	227	235	244	253	263	273	283	294	305	316
31	159	163	167	172	178	184	190	197	204	211	219	227	236	245	254	264	274	284	295	306	317	329	342
32		174	179	185	191	197	204	212	219	227	236	245	254	263	273	284	295	306	317	329	342	355	368
33		186	192	198	205	212	219	227	235	244	253	262	272	283	294	305	316	328	341	354	367	381	395
34		199	205	211	218	226	234	243	252	261	271	281	292	303	314	326	339	352	365	379	393	408	423
35			218	225	233	241	250	259	269	279	289	300	312	324	336	349	363	376	390	405	420	435	451
36			232	240	248	257	266	276	286	297	308	320	332	345	358	372	386	401	416	431	447	464	481
37			246	254	263	273	283	293	304	316	328	340	353	367	381	395	410	426	442	459	476	493	512
38			261	269	279	289	300	311	323	335	348	361	375	389	404	420	436	452	469	487	505	524	543
39				285	295	306	317	329	342	355	369	383	398	413	428	445	462	479	497	516	535	555	575
40				301	312	323	335	348	361	375	390	405	421	437	453	471	489	507	526	546	566	587	608
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 10 cm																						
13	20																						
14	24	24																					
15	29	29	28																				
16	33	33	33	33																			
17	38	38	39	39	39																		
18	44	44	44	45	45	46																	
19	50	50	50	51	52	52	53																
20	56	57	57	58	59	60	61	62															
21	63	64	64	65	66	68	69	71	72														
22	70	71	72	73	74	76	78	79	81	84													
23	78	79	80	81	83	85	87	89	91	94	97												
24	86	87	88	90	92	94	97	99	102	105	108	112											
25	94	96	98	100	102	104	107	110	113	117	120	124	128										
26	103	105	107	109	112	115	118	121	125	129	133	138	142	147									
27	112	114	117	120	123	126	130	134	138	142	147	152	157	162	168								
28	122	124	127	130	134	138	142	146	151	156	161	166	172	178	184	191							
29	133	135	138	142	146	150	155	160	165	170	176	182	188	195	202	209	217						
30	144	147	150	154	158	163	168	173	179	185	192	198	205	213	221	229	237	246					
31	154	158	162	166	171	176	181	187	193	200	207	214	222	230	239	248	257	266	276	286			
32	165	169	173	178	183	189	195	202	209	216	223	231	240	248	257	267	277	287	298	309	320	332	
33		181	186	191	197	203	209	216	224	232	240	249	258	267	277	287	298	309	321	333	345	358	371
34		193	198	204	210	217	224	232	240	248	257	267	277	287	297	308	320	332	344	357	370	384	398
35		206	212	218	224	232	240	248	257	266	275	285	296	307	318	330	342	355	369	382	396	411	426
36		219	225	232	239	247	255	264	274	283	293	304	316	328	340	352	365	379	393	408	423	438	454
			239	246	254	263	272	281	291	302	313	324	336	349	362	375	389	404	419	435	451	467	484
38			253	261	270	279	288	298	309	321	333	345	357	371	385	399	414	430	446	462	479	497	515
39			268	276	285	295	306	316	328	340	353	366	379	393	408	424	439	456	473	490	508	527	546
40			283	292	302	312	323	335	347	360	373	387	402	417	433	449	466	483	501	519	538	558	578

SPRUCE – *KUUSI*

Dbh $D_{1.3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																						
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 1 cm																						
5	5,3	5,5																					
6	7,6	7,9	8,2																				
7	10,5	10,9	11,3	11,8	12,2																		
8	13,6	14,2	14,8	15,4	16,0	16,6	17,3																
9	17,5	18,2	18,9	19,7	20,5	21,3	22,2	23,1															
10	21,4	22,2	23,1	24,1	25,1	26,2	27,3	28,4	29,6														
11		27	28	29	31	32	33	35	36	38													
12		32	33	35	36	38	39	41	43	45	46												
13		38	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57											
14		43	45	47	49	51	54	56	58	61	63	66	68	71									
15			52	55	57	59	62	64	67	70	73	76	79	82									
16			59	62	64	67	70	73	76	79	82	86	89	93	96								
17			67	70	73	76	79	82	86	90	93	97	101	105	109								
18			75	78	82	85	89	93	97	101	105	109	114	118	123	128	133						
19			83	86	90	94	98	102	107	111	116	121	126	131	136	141	147	153	158				
20				96	100	105	109	114	119	124	129	134	139	145	151	157	163	169	176				
21				106	110	115	120	125	131	136	142	148	154	160	167	173	180	187	194	201	208		
22				116	121	127	132	138	144	150	156	162	169	176	183	190	197	205	213	221	229		
23				127	132	138	144	150	157	163	170	177	185	192	200	208	216	224	233	241	250	260	269
24				138	144	150	157	164	171	178	185	193	201	209	217	226	235	244	253	263	272	282	293
25					156	163	170	177	185	193	201	209	218	226	235	245	254	264	274	285	295	306	317
26					169	176	184	192	200	208	217	226	235	244	254	264	275	285	296	307	319	330	342
27					182	190	198	207	216	225	234	244	254	264	275	286	297	308	320	332	345	357	370
28					196	205	214	223	232	242	252	263	273	284	296	308	320	332	345	358	371	385	398
29					210	220	229	239	249	260	271	282	293	305	317	330	343	356	370	384	398	412	427
30					224	234	244	254	265	276	288	300	312	324	337	351	364	378	393	408	423	438	454
31					237	248	258	269	281	293	305	318	331	344	358	372	386	401	417	432	448	465	482
32					251	262	273	285	297	310	323	336	350	364	379	394	409	425	441	458	475	492	510
33					265	277	289	301	314	327	341	355	370	385	400	416	432	449	466	483	501	520	539
34					280	292	305	318	331	345	359	374	390	406	422	438	456	473	491	510	529	548	568
35					295	308	321	334	349	363	378	394	410	427	444	461	479	498	517	537	557	577	598
36						323	337	351	366	382	398	414	431	449	467	485	504	523	543	564	585	607	629
37							354	369	385	401	418	435	452	471	490	509	529	549	570	592	614	637	660
38							371	387	403	420	438	456	474	493	513	533	554	576	598	620	644	667	692
39								405	422	440	458	477	496	516	537	558	580	603	626	650	674	698	724
40								423	441	460	479	499	519	540	561	584	607	630	654	679	704	730	757
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 2 cm																						
5	4,3	4,4																					
6	6,5	6,6	6,8	6,9																			
7	9,2	9,4	9,6	9,9	10,2	10,5																	
8	12,1	12,4	12,8	13,2	13,6	14,0	14,5																
9	15,7	16,2	16,7	17,2	17,8	18,4	19,0	19,7															
10	19,3	20,0	20,7	21,4	22,1	22,9	23,7	24,6	25,6														
11	24	25	26	26	27	28	29	31	32	33													
12	28	29	30	32	33	34	35	36	38	39	41												
13	34	35	36	37	39	40	42	44	45	47	49	51											
14	39	40	42	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61										
15		47	48	50	52	54	56	59	61	63	66	68	71	74									
16		53	55	57	59	62	64	66	69	72	75	78	81	84	87								
17		60	62	65	67	70	73	76	79	82	85	89	92	96	99	103							
18			70	73	76	79	82	86	89	93	96	100	104	108	112	117	121	126					
19			78	81	84	88	91	95	99	103	107	111	116	120	125	130	135	140	145				
20			87	90	94	98	102	106	110	115	119	124	129	134	139	145	150	156	162	168			
21			96	100	104	108	113	117	122	127	132	137	143	148	154	160	166	173	179	186	193		
22			106	110	114	119	124	129	134	140	145	151	157	164	170	177	183	190	198	205	213	220	
23			116	120	125	130	136	141	147	153	159	166	172	179	186	193	201	209	217	225	233	241	250
24			126	131	137	142	148	154	160	167	174	181	188	195	203	211	219	228	236	245	254	264	273
25			137	142	148	154	161	167	174	181	189	196	204	212	221	229	238	247	257	266	276	286	297
26			148	154	160	167	174	181	189	196	204	213	221	230	239	248	258	268	278	288	299	310	321
27				167	174	181	188	196	204	213	221	230	239	249	259	269	279	290	301	312	324	336	348
28				180	187	195	203	212	220	229	239	248	258	269	279	290	301	313	325	337	349	362	375
29				193	201	210	218	227	237	247	257	267	278	289	300	312	324	336	349	362	375	389	403
30				206	214	223	233	242	252	262	273	284	296	307	319	332	345	358	371	385	240	414	429
31				218	228	237	247	257	268	279	290	302	314	326	339	353	366	380	395	410	425	440	456
32					241	251	262	273	284	295	307	320	333	346	360	374	388	403	418	434	450	467	484
33					255	266	277	288	300	312	325	338	352	366	380	395	411	427	443	459	476	494	512
34					269	281	292	304	317	330	343	357	372	387	402	418	434	450	467	485	503	522	541
35					284	296	308	321	334	348	362	377	392	407	423	440	457	475	493	511	530	550	570
36					299	311	324	338	352	366	381	396	412	429	446	463	481	500	519	538	558	579	600
37					314	327	341	355	369	385	400	416	433	450	468	487	506	525	545	565	586	608	630
38						343	357	372	387	403	420	437	455	473	491	510	530	551	572	593	615	638	661
39						359	374	390	406	423	440	458	476	495	515	535	556	577	599	622	645	668	693
40							392	408	425	442	450	479	498	518	539	560	581	604	627	650	674	699	725

SPRUCE – *KUUSI*

Dbh $D_{1.3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																						
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 3 cm																						
5	3,6																						
6	5,6	5,6	5,6																				
7	8,0	8,1	8,2	8,3	8,5																		
8	10,7	10,9	11,1	11,3	11,5	11,8	12,1																
9	14,0	14,3	14,6	15,0	15,4	15,8	16,2	16,7															
10	17,6	18,0	18,5	18,9	19,4	20,0	20,6	21,2	21,9														
11	22	22	23	24	24	25	26	27	28	29													
12	26	27	28	28	29	30	31	32	33	35	36												
13	31	32	33	34	35	36	38	39	40	42	43	45											
14	36	37	38	40	41	42	44	45	47	49	51	52	54										
15	42	43	45	46	48	50	51	53	55	57	59	61	64	66	69								
16	48	49	51	53	55	57	59	61	63	65	68	70	73	76	79	82	85						
17	55	56	58	60	63	65	67	70	72	75	78	81	84	87	90	94	97						
18		64	66	68	71	73	76	79	82	85	88	92	95	99	103	106	110	115					
19		71	73	76	79	82	85	88	91	95	98	102	106	110	114	119	123	128	133				
20		79	82	85	88	91	95	98	102	106	110	114	119	123	128	133	138	143	149	154			
21		88	91	94	97	101	105	109	114	118	123	127	132	137	143	148	154	159	165	171	178	184	
22		97	100	104	108	112	116	121	125	130	135	141	146	152	158	164	170	176	183	190	197	204	
23			110	114	118	123	128	133	138	143	149	155	161	167	173	180	187	194	201	208	216	224	232
24			120	125	129	134	140	145	151	157	163	169	176	183	190	197	204	212	220	228	237	245	254
25			131	136	141	146	152	158	164	171	177	184	191	199	207	215	223	231	240	249	258	267	277
26			142	147	153	159	165	171	178	185	192	200	208	216	224	233	242	251	260	270	280	290	301
27			153	159	166	172	179	186	193	201	209	217	225	234	243	253	262	272	282	293	304	315	326
28			166	172	179	186	193	201	209	217	226	235	244	253	263	273	284	294	305	317	329	341	353
29			178	185	192	200	208	216	225	234	243	253	262	273	283	294	305	317	329	341	354	367	380
30			190	197	205	213	222	231	240	249	259	269	280	291	302	314	326	338	351	364	377	391	406
31				209	218	227	236	245	255	265	276	287	298	309	321	334	347	360	373	387	402	417	432
32				223	232	241	250	260	271	282	293	304	316	329	342	355	368	382	397	412	427	442	458
33				236	245	255	265	276	287	298	310	322	335	348	362	366	390	405	420	436	452	469	486
34					259	269	280	291	303	315	328	341	354	368	382	397	412	428	444	461	478	496	514
35					273	284	296	308	320	333	346	360	374	389	404	419	435	452	469	487	505	523	542
36					288	299	311	324	337	351	365	379	394	409	425	442	459	476	494	513	532	551	571
37					303	315	328	341	355	369	384	399	415	431	447	465	483	501	520	530	560	580	601
38					318	331	344	358	372	387	403	419	435	452	470	488	507	526	546	567	588	609	632
39						347	361	375	390	406	422	439	456	474	493	512	532	552	573	594	616	639	662
40						363	378	393	409	425	442	460	478	497	516	536	557	578	600	623	646	669	694
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 4 cm																						
6	4,7	4,6																					
7	7,0	7,0	7,0																				
8	9,5	9,5	9,6	9,7	9,8																		
9	12,6	12,7	12,9	13,0	13,2	13,4	13,7																
10	15,9	16,2	16,4	16,7	17,0	17,4	17,8	18,2															
11	20	20	21	21	22	22	23	23	24														
12	24	25	25	26	26	27	28	28	29	30													
13	29	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38												
14	34	35	35	36	37	38	40	41	42	44	45	46	48										
15	39	40	42	43	44	45	47	48	50	51	53	55	57	59	61								
16	45	46	47	49	50	52	54	55	57	59	61	63	66	68	70	73							
17	52	53	54	56	58	60	62	64	66	68	71	73	76	79	81	84	87						
18	58	60	62	64	66	68	70	73	75	78	81	84	87	90	93	97	100	104					
19	65	67	69	71	74	76	79	81	84	87	90	94	97	101	105	108	112	117	121				
20		75	77	80	83	85	88	91	95	98	102	105	110	113	118	122	126	131	136	141			
21		83	86	89	92	95	98	102	106	109	114	118	122	127	131	136	141	147	152	158	163		
22		92	95	98	102	105	109	113	117	121	126	131	135	140	146	151	157	163	169	175	181	188	
23		101	105	108	112	116	120	124	129	134	139	144	149	155	161	167	173	180	186	193	200	208	215
24		111	114	118	123	127	132	137	142	147	152	158	164	170	177	183	190	197	205	212	220	228	236
25		120	125	129	134	139	144	149	154	160	166	173	179	186	193	200	208	216	224	232	240	249	258
26			135	140	145	150	156	162	168	174	181	188	195	202	210	218	226	234	243	252	261	271	281
27			147	152	158	164	170	176	183	190	197	204	212	220	228	237	246	255	265	275	285	295	306
28			159	165	171	177	184	191	198	205	213	221	230	238	247	257	267	277	287	298	309	320	331
29			171	177	184	191	198	205	213	221	230	239	248	257	267	277	288	299	310	321	333	345	358
30			183	189	196	204	211	219	228	237	246	255	265	275	285	296	307	319	331	343	356	369	382
31			194	201	209	217	225	234	243	252	262	272	282	293	304	316	328	340	353	366	380	394	408
32				214	222	230	239	238	258	268	278	289	300	312	324	336	349	362	375	389	404	419	434
33				227	236	245	254	264	274	284	295	307	319	331	344	357	370	384	398	413	429	444	460
34				240	249	259	269	279	290	301	313	325	337	350	364	378	392	407	422	438	454	471	488
35					263	273	284	295	306	318	330	343	356	370	384	399	414	430	446	463	480	497	516
36					278	288	299	311	323	335	348	362	376	391	406	421	437	454	471	488	506	525	544
37					292	303	315	327	340	353	367	381	396	411	427	444	461	478	496	514	533	553	573
38					307	319	331	344	357	371	386	401	417	433	449	466	484	503	522	541	561	582	603
39						335	348	361	375	390	405	421	437	454	472	490	508	528	548	568	589	611	633
40						351	365	379	393	409	425	441	458	476	495	514	533	553	574	596	618	640	664

SPRUCE – *KUUSI*

Dbh $D_{1.3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																						
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
7	6,2	6,1					TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 5 cm																
8	8,5	8,4	8,3	8,3																			
9	11,4	11,3	11,3	11,4	11,4	11,5																	
10	14,5	14,5	14,6	14,7	14,8	15,0	15,3																
11	18	18	19	19	19	19	20	20															
12	22	22	23	23	23	24	24	25	26														
13	27	27	28	28	29	29	30	31	32	32	33												
14	32	32	33	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42										
15	37	38	38	39	40	41	42	43	45	46	47	49	51	52									
16	42	43	44	45	46	47	49	50	52	53	55	57	59	61	63	65							
17	49	50	51	52	53	55	57	58	60	62	64	66	68	71	73	76	79						
18	55	57	58	60	61	63	65	67	69	71	74	76	79	81	84	87	90	94					
19	62	63	65	67	69	71	73	75	78	80	83	86	89	92	95	99	102	106	110				
20	69	71	73	75	77	79	82	85	88	91	94	97	100	104	108	112	116	120	124	129			
21	77	79	81	84	86	89	92	95	98	101	105	109	113	117	121	125	130	134	139	145	150		
22	85	88	90	93	96	99	102	105	109	113	117	121	125	130	135	139	145	150	155	161	167	173	
23		97	99	102	106	109	113	117	121	125	129	134	140	144	149	155	160	166	172	178	185	192	199
24		106	109	112	116	120	124	128	133	137	142	147	153	158	164	170	176	183	190	197	204	211	219
25		115	119	123	127	131	135	140	145	150	156	161	167	173	180	186	193	201	208	216	224	232	240
26		125	129	133	138	143	147	153	158	164	170	176	182	189	196	203	211	219	227	235	244	253	262
27		136	141	145	150	155	161	166	172	179	185	192	199	206	214	222	230	239	248	257	266	276	286
28			152	157	163	168	174	180	187	194	201	208	216	224	233	241	250	259	269	279	289	300	311
29			164	170	176	182	188	195	202	209	217	225	234	242	251	261	271	281	291	302	313	324	336
30			176	182	188	194	201	209	216	224	233	241	250	260	269	279	290	301	312	323	335	347	360
31			187	194	200	207	215	223	231	239	248	258	267	277	288	299	310	321	333	345	358	371	385
32			199	206	213	221	229	237	246	255	264	274	285	295	306	318	330	342	355	368	382	396	410
33				218	226	234	243	252	261	271	281	291	302	314	326	338	351	364	377	391	406	421	436
34				231	240	248	257	267	277	287	298	309	321	333	346	359	372	386	400	415	430	446	462
35				245	254	263	272	282	293	304	315	327	339	352	366	380	394	409	424	440	456	472	490
36					267	277	287	298	309	321	333	346	359	372	386	401	416	432	448	464	481	499	517
37					282	292	303	314	326	338	351	364	378	392	407	423	439	455	472	490	508	527	546
38					296	307	319	331	343	356	369	383	398	413	429	445	462	480	498	516	535	555	575
39						323	335	347	360	374	388	403	418	434	451	468	486	504	523	542	562	583	604
40						339	351	364	378	392	407	423	439	456	473	491	510	529	549	569	590	612	634
							TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 6 cm																
8	7,6	7,5	7,3																				
9	10,3	10,1	10,0	9,9																			
10	13,2	13,1	13,0	13,0	13,0	13,0																	
11	17	17	17	17	17	17	17																
12	21	21	21	21	21	21	22	22	22														
13	25	25	25	25	26	26	27	27	28	28													
14	29	30	30	30	31	31	32	33	33	34	35												
15	35	35	35	36	37	37	38	39	40	41	42	44											
16	40	40	41	42	43	43	44	46	47	48	49	51	53	54									
17	46	47	47	48	49	51	52	53	55	56	58	60	62	64	66	68							
18	52	53	54	55	57	58	60	61	63	65	67	69	71	74	76	79	82						
19	59	60	61	62	64	65	67	69	71	73	76	78	81	84	86	89	93	96	99				
20	66	67	69	70	72	74	76	78	81	83	86	89	92	95	98	102	105	109	113				
21	73	75	77	79	81	83	85	88	91	94	97	100	103	107	111	115	119	123	127	132			
22	81	83	85	88	90	93	95	98	101	105	108	112	116	120	124	128	133	138	143	148			
23	90	92	94	97	99	102	106	109	112	116	120	124	128	133	138	143	148	153	159	165	171		
24	98	101	104	106	109	113	116	120	124	128	133	137	142	147	152	158	163	169	176	182	189	195	
25	108	110	113	117	120	124	128	132	136	141	146	151	156	161	167	173	180	186	193	200	207	215	223
26	117	120	123	127	131	135	139	144	149	154	159	165	171	177	183	190	197	204	211	219	227	235	244
27		131	135	139	143	147	152	157	162	168	174	180	187	193	200	208	215	223	231	240	249	258	267
28		142	146	150	155	160	165	171	177	183	189	196	203	210	218	226	234	243	252	261	271	281	291
29		153	158	163	168	173	179	185	191	198	205	212	220	228	236	245	254	263	273	283	294	304	315
30		164	169	174	179	185	192	198	205	212	220	228	236	245	254	263	273	283	293	304	315	327	338
31		175	180	186	192	198	205	212	219	227	235	244	253	262	272	282	292	303	314	325	337	350	362
32			192	198	204	211	218	226	234	242	251	260	270	280	290	301	312	323	335	347	360	373	387
33			204	210	217	224	232	240	249	258	267	277	287	298	309	320	332	344	357	370	384	398	412
34				223	230	238	246	255	264	274	284	294	305	316	328	340	353	366	379	393	408	423	438
35				236	244	252	261	270	280	290	300	311	323	334	347	360	374	388	402	417	432	448	464
36				249	257	266	276	285	295	306	318	329	341	354	368	382	396	410	425	441	457	474	491
37					271	281	291	301	312	324	336	348	361	374	388	403	418	433	449	466	483	501	519
38					286	296	306	317	329	341	354	367	380	394	409	425	440	457	474	491	509	528	547
39					300	311	322	334	346	359	372	386	400	415	431	447	463	481	499	517	536	556	576
40						327	338	350	363	377	391	405	420	436	453	470	487	505	524	543	563	584	605

SPRUCE – *KUUSI*

Dbh $D_{1,3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																							
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																							
							TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 7 cm																	
9	9,4	9,1	9,0																					
10	12,1	11,8	11,7	11,5																				
11	15	15	15	15	15																			
12	19	19	19	19	19	19																		
13	23	23	23	23	23	23	24																	
14	27	27	27	28	28	28	29	29																
15	32	33	33	33	33	34	34	35	36															
16	37	38	38	38	39	40	40	41	42	43														
17	43	44	44	45	46	46	47	48	49	51	52													
18	49	50	51	52	53	54	55	56	57	59	61	62												
19	56	56	57	58	59	61	62	64	65	67	69	71	73											
20	63	64	65	66	67	69	70	72	74	76	79	81	84	87	89									
21	70	71	73	74	76	77	79	82	84	86	89	92	95	98	101	105								
22	78	79	81	83	85	87	89	91	94	97	100	103	107	110	114	118	122							
23	86	88	89	92	94	96	99	102	105	108	111	115	119	123	127	132	136	141	146					
24	94	96	99	101	103	106	109	112	116	119	123	127	132	136	141	146	151	157	162	168	174			
25	103	106	108	111	114	117	120	124	127	132	136	141	145	150	155	161	167	173	179	185	192	199		
26	113	115	118	121	124	128	131	135	140	144	149	154	159	165	171	177	183	190	197	204	211	219	227	
27	123	126	129	132	136	140	144	148	153	158	163	169	175	181	187	194	201	208	216	224	232	240	249	
28	133	136	140	144	148	152	157	162	167	172	178	184	191	197	204	212	219	227	236	244	253	262	272	
29	144	147	151	155	160	165	170	175	180	186	193	200	207	214	222	230	238	247	256	265	275	285	295	
30		158	162	167	172	177	182	188	194	201	208	205	223	231	239	247	256	266	275	285	296	307	318	
31		169	173	178	183	189	195	201	208	215	223	231	239	247	256	265	275	285	295	306	317	329	341	
32			185	190	196	202	208	215	222	230	238	246	255	264	274	284	294	305	316	328	340	352	365	
33			196	202	208	215	222	229	237	245	254	263	272	282	292	303	314	325	337	350	363	376	389	
34			208	214	221	228	236	244	252	261	270	279	289	300	311	322	334	346	359	372	386	400	414	
35				227	234	242	250	258	267	276	286	296	307	318	330	342	355	368	381	395	410	425	440	
36				240	248	256	264	273	283	293	303	314	325	337	350	363	376	390	404	419	434	450	466	
37				254	262	270	279	289	299	309	320	332	344	357	370	383	397	412	427	443	459	476	493	
38					276	285	294	304	315	326	338	350	363	376	390	405	420	435	451	468	485	502	521	
39					290	300	310	321	332	344	356	369	382	396	411	426	442	458	475	493	511	530	549	
40						315	326	337	349	361	374	388	402	417	432	448	465	482	500	519	538	557	577	
							TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 8 cm																	
10	11,1																							
11	14	14																						
12	18	17	17																					
13	22	21	21	21	21																			
14	26	25	25	25	25																			
15	30	30	30	30	31	31																		
16	35	35	35	36	36	36	37																	
17	41	41	41	42	42	43	43	44																
18	47	47	47	48	49	49	50	51	52															
19	53	53	54	54	55	56	57	58	60	61														
20	60	60	61	62	63	64	65	67	68	70	72													
21	67	68	69	70	71	72	74	76	78	80	82	84												
22	74	75	76	78	79	81	83	85	87	90	92	95	98											
23	82	84	85	86	88	90	92	95	97	100	103	106	110	113										
24	91	92	94	96	98	100	102	105	108	111	115	118	122	126	130									
25	99	101	103	105	107	110	113	116	119	123	127	131	135	139	144	149								
26	108	110	113	115	118	121	124	127	131	135	139	144	148	153	159	164	170							
27	118	120	123	126	129	132	136	140	144	148	153	158	163	169	175	181	187	194	201					
28	128	131	134	137	140	144	148	153	157	162	167	173	179	185	191	198	205	212	220	228				
29	139	142	145	149	153	157	161	166	171	176	182	188	194	201	208	215	223	231	239	248	257			
30	149	152	156	160	164	168	173	178	184	190	196	203	210	217	224	232	241	249	258	268	277	287	298	
31		163	166	171	175	180	186	191	197	204	211	218	225	233	241	250	259	268	278	288	298	309	320	
32		173	178	182	187	193	199	205	211	218	225	233	241	249	258	268	277	287	298	309	320	331	343	
33		185	189	194	200	206	212	218	225	233	241	249	258	267	276	286	296	307	318	330	342	354	367	
34		196	201	206	212	219	225	232	240	248	256	265	274	284	294	305	316	327	339	352	365	378	391	
35			213	219	225	232	239	247	255	263	272	282	292	302	313	324	336	348	361	374	388	402	416	
36			225	232	239	246	253	261	270	279	289	299	309	320	332	344	356	369	383	397	411	426	442	
37				245	252	260	268	277	286	295	305	316	328	339	351	364	378	392	406	420	436	452	468	
38				258	266	274	283	292	302	312	323	334	346	359	371	385	399	414	429	445	461	478	495	
39					280	289	298	308	318	329	341	353	365	378	392	406	421	437	453	469	487	504	522	
40					294	304	314	324	335	346	358	371	384	398	413	428	444	460	477	494	512	531	550	

SPRUCE – *KUUSI*

Dbh	Tree height, m – *Puun pituus, m*																						
$D_{1,3}$	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
cm	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
10	10,3						TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 9 cm																
11	13																						
12	16	16																					
13	20	20	20																				
14	24	24	23	23																			
15	28	28	28	28	28																		
16	33	33	33	33	33	33																	
17	39	38	38	38	39	39	39																
18	44	44	44	45	45	45	46																
19	50	50	51	51	51	52	53	54															
20	57	57	57	58	59	59	60	62	63														
21	64	64	65	65	66	67	69	70	72	73													
22	71	72	72	73	74	75	77	79	81	83													
23	79	80	80	82	83	85	86	88	90	93	95												
24	87	88	89	90	92	94	96	98	101	103	106												
25	95	97	98	100	102	104	106	109	112	115	118												
26	104	106	107	109	112	114	117	120	123	126	130	134											
27	114	116	118	120	122	125	128	132	135	139	143	148	152										
28	124	126	128	131	134	137	140	144	148	152	157	162	167	173	178								
29	134	137	139	142	145	149	153	157	161	166	171	177	182	188	195	201							
30	144	146	149	153	156	160	164	169	174	179	185	191	197	204	211	218	225						
31	154	157	160	164	168	172	177	182	187	193	199	205	212	219	227	235	243	251					
32		167	171	175	179	184	189	195	201	207	213	220	228	235	243	252	261	270	280				
33		178	182	187	191	196	202	208	214	221	228	236	244	252	261	270	279	289	300	311			
34		190	194	199	204	209	215	222	229	236	243	251	260	269	278	288	298	309	320	332	344		
35			206	211	216	222	229	236	243	251	259	268	277	286	296	307	318	329	341	354	367	380	393
36			218	223	229	236	243	250	258	266	275	284	294	304	315	326	338	350	363	376	390	404	418
37			230	236	243	250	257	265	273	282	291	301	312	323	334	346	358	371	385	399	413	428	444
38				249	256	264	272	280	289	298	308	319	330	342	354	366	379	393	407	422	438	454	470
39				263	270	278	286	295	305	315	326	337	349	361	373	387	401	415	430	446	462	479	497
40					284	293	302	311	321	332	343	355	367	380	394	408	423	438	454	471	488	506	524
							TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 10 cm																
12	15																						
13	19	18																					
14	22	22	22																				
15	27	26	26	26																			
16	31	31	31	30	30																		
17	36	36	36	36	36	36																	
18	42	42	42	42	42	42	42																
19	48	47	47	47	48	48	49																
20	54	54	54	54	55	55	56	57															
21	61	61	61	61	62	63	64	65															
22	68	68	68	69	70	71	72	73	75														
23	75	76	76	77	78	79	81	82	84	86													
24	83	84	85	86	87	88	90	92	94	96	98												
25	92	92	93	95	96	98	100	102	104	107	110	113											
26	100	101	102	104	106	108	110	112	115	118	121	125	128										
27	110	111	112	114	116	118	121	124	127	130	134	138	142										
28	119	121	123	125	127	130	133	136	139	143	147	151	156	161									
29	130	131	133	136	138	141	145	148	152	156	161	166	171	176									
30	140	141	143	146	149	152	156	160	164	169	174	179	185	191	197								
31	149	151	154	157	160	164	168	172	177	182	188	194	200	206	213								
32	159	162	165	168	172	176	180	185	190	196	202	208	214	221	229	237							
33		172	176	179	183	188	193	198	203	209	216	223	230	238	246	254	263						
34		183	187	191	195	200	205	211	217	224	231	238	246	254	263	272	281	291					
35			199	203	208	213	219	225	232	239	246	254	262	271	281	290	300	311					
36			210	215	220	226	232	239	246	254	262	270	279	288	298	309	320	331	343				
37			223	228	234	240	246	253	261	269	278	287	296	306	317	328	340	352	365	378			
38				241	247	253	260	268	276	285	294	304	314	325	336	348	360	373	387	400	415		
39				254	260	267	275	283	292	301	311	321	332	343	355	368	381	395	409	424	439	455	
40				267	274	282	290	299	308	318	328	339	350	362	375	389	403	417	432	448	464	481	

BIRCH – *KOIVU*

Dbh $D_{1.3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																						
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 1 cm																						
5	5,4	5,6	5,8	6,0																			
6	7,9	8,2	8,5	8,9	9,2	9,6	10,0																
7	11,0	11,4	11,9	12,4	13,0	13,5	14,1	14,7															
8	14,4	15,1	15,7	16,4	17,2	17,9	18,7	19,5	20,3														
9	18,6	19,5	20,3	21,2	22,2	23,2	24,2	25,2	26,3	27,5													
10	23,1	24,1	25,2	26,4	27,6	28,8	30,1	31,4	32,8	34,2	35,7												
11	28	30	31	32	34	35	37	39	40	42	44	46											
12	34	36	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	58										
13	40	42	44	46	48	50	53	55	57	60	62	65	68	71									
14	47	49	51	54	56	59	62	64	67	70	73	76	80	83	86								
15		57	59	62	65	68	71	75	78	81	85	88	92	96	100	104							
16		65	69	72	75	79	82	86	90	94	98	102	106	111	115	120							
17		75	78	82	86	90	94	98	103	107	112	117	122	127	132	137	143						
18			88	92	96	101	105	110	115	120	125	131	136	142	148	154	160	166					
19			98	102	107	112	117	123	128	134	140	146	152	158	165	172	179	186	193				
20			108	113	119	124	130	136	142	148	155	162	168	175	183	190	198	206	214	222			
21			119	125	131	137	143	150	157	164	171	178	186	193	201	210	218	227	235	244	254		
22				137	144	150	157	164	172	179	187	195	204	212	221	230	239	248	258	268	278		
23				150	157	164	172	180	188	196	204	213	222	232	241	251	261	271	282	293	304	315	
24				163	171	179	187	195	204	213	222	232	242	252	262	273	284	295	307	318	330	343	355
25				177	185	193	202	212	221	231	241	251	262	273	284	296	308	320	332	345	358	371	385
26					200	209	219	229	239	249	260	272	283	295	307	320	333	346	359	373	387	401	416
27					215	225	235	246	257	269	280	292	305	318	331	344	358	372	387	401	417	432	448
28					231	242	253	264	276	288	301	314	327	341	355	370	385	400	415	431	447	464	481
29					247	259	271	283	296	309	322	336	351	365	380	396	412	428	445	462	479	497	515
30					264	277	290	303	316	330	345	360	375	390	406	423	440	457	475	493	512	531	550
31						295	308	322	337	352	367	383	399	416	433	451	469	487	506	576	546	566	587
32						314	328	343	358	374	391	408	425	442	461	480	499	518	538	559	580	602	624
33						333	348	364	380	397	415	433	451	470	489	509	529	550	572	593	616	639	662
34						353	369	386	403	421	439	458	477	497	518	539	561	583	605	629	653	677	702
35						373	390	408	426	445	464	484	505	526	548	570	593	616	640	665	690	716	742
36							412	431	450	470	490	511	533	555	578	602	626	651	676	702	728	755	783
37							434	454	474	495	517	539	562	585	609	634	660	686	712	740	768	796	825
38							457	478	499	521	544	567	591	616	641	667	694	722	750	778	808	838	869
39								502	525	548	572	596	621	647	674	701	729	758	788	818	849	881	913
40								527	551	575	600	626	652	679	707	736	766	796	827	858	891	924	958
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 2 cm																						
5	4,6	4,7	4,8	4,9																			
6	6,9	7,1	7,3	7,5	7,7	7,9																	
7	9,8	10,1	10,4	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3															
8	13,0	13,5	13,9	14,4	14,9	15,5	16,1	16,7															
9	17,0	17,6	18,2	18,9	19,6	20,4	21,2	22,0	22,8														
10	21,3	22,0	22,9	23,8	24,7	25,6	26,7	27,7	28,8	30,0													
11	26	27	28	29	31	32	33	34	36	37	39	40											
12	32	33	34	36	37	39	40	42	44	45	47	49	51										
13	38	39	41	42	44	46	48	50	52	54	56	59	61										
14	44	46	48	50	52	54	56	59	61	64	66	69	72	75	78								
15	51	53	56	58	61	63	66	69	71	74	78	81	84	87	91	95							
16	59	62	64	67	70	73	76	80	83	86	90	94	98	102	106	110							
17		71	74	77	80	84	88	91	95	99	103	108	112	117	121	126	131						
18		80	83	87	90	94	99	103	107	112	116	121	126	131	137	142	148	154					
19		89	93	97	101	106	110	115	120	125	130	136	141	147	153	159	165	172	178				
20		99	103	108	112	117	122	128	133	139	145	151	157	163	170	177	184	191	198	206			
21			114	119	124	130	135	141	147	154	160	167	174	181	188	196	203	211	219	228			
22			125	131	136	142	149	155	162	169	176	183	191	199	207	215	224	232	241	251	260		
23			137	143	149	156	163	170	177	185	193	201	209	218	227	236	245	255	265	275	285		
24			149	156	163	170	177	185	193	202	210	219	228	237	247	257	267	278	288	299	311	322	
25			162	169	177	185	193	201	210	219	228	238	248	258	268	279	290	302	313	325	338	350	363
26				183	191	200	209	218	227	237	247	257	268	279	291	302	314	327	339	352	365	379	393
27				197	206	215	225	235	245	256	266	278	289	301	314	326	339	352	366	380	394	409	424
28				212	222	231	242	253	264	275	287	299	311	324	337	351	365	379	394	409	424	440	456
29				228	238	248	259	271	283	295	307	320	334	348	362	376	391	407	423	439	455	472	489
30				243	254	266	278	290	302	315	329	343	357	372	387	403	419	435	452	469	487	505	524
31					272	284	296	309	323	337	351	366	381	397	413	430	447	464	482	501	520	539	559
32					289	302	315	329	344	359	374	390	406	423	440	458	476	495	514	534	554	574	595
33					307	321	335	350	365	381	397	414	431	449	468	487	506	526	546	567	588	610	633
34					326	341	356	371	387	404	421	439	458	477	496	516	537	558	579	601	624	647	671
35					345	360	376	393	410	428	446	465	484	504	525	546	568	590	613	637	661	685	710
36					365	381	398	415	433	452	472	492	512	533	555	577	600	624	648	673	698	724	751
37						402	420	438	457	477	497	519	540	562	585	609	633	658	684	710	737	764	792
38						423	442	462	482	503	524	546	569	593	617	642	667	693	720	748	776	805	834
39						445	465	486	507	529	551	575	599	623	649	675	702	729	758	787	816	847	878
40							489	510	532	555	579	603	629	655	681	709	737	766	796	826	857	889	922

BIRCH – *KOIVU*

TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 3 cm

Dbh $D_{1.3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																						
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
5	4,0	4,0	4,0																				
6	6,1	6,1	6,2	6,3	6,4																		
7	8,8	8,9	9,1	9,3	9,5	9,7																	
8	11,8	12,1	12,4	12,7	13,0	13,4	13,8																
9	15,6	16,0	16,4	16,9	17,4	17,9	18,5	19,1	19,7														
10	19,6	20,2	20,8	21,4	22,1	22,8	23,6	24,4	25,3	26,2													
11	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	36											
12	30	31	32	33	34	35	36	38	39	41	42	44	45										
13	35	36	38	39	40	42	44	45	47	49	51	53	55										
14	42	43	45	46	48	50	52	54	56	58	60	63	65	68	70								
15	49	50	52	54	56	58	61	63	65	68	71	74	76	79	83	86							
16	56	58	61	63	65	68	71	73	76	79	83	86	89	93	96	100							
17	65	67	70	72	75	78	81	85	88	92	95	99	103	107	111	116	120						
18	73	76	79	82	85	88	92	96	100	104	108	112	117	121	126	131	136	141					
19		85	88	92	95	99	103	107	112	116	121	126	131	136	142	147	153	159	165				
20		94	98	102	106	111	115	120	125	130	135	141	146	152	158	164	171	177	184	191			
21		104	109	113	118	122	127	133	138	144	150	156	162	169	175	182	189	197	204	212			
22		115	119	124	130	135	141	146	152	159	165	172	179	186	194	201	209	217	226	234	243		
23		126	131	136	142	148	154	161	167	174	181	189	197	205	213	221	230	239	248	257	267		
24			143	149	155	162	169	176	183	190	198	206	215	223	232	242	251	261	271	281	292	303	
25			155	162	169	176	183	191	199	207	216	225	234	243	253	263	273	284	295	306	318	330	
26			168	176	183	191	199	207	216	225	234	244	254	264	275	286	297	308	320	332	345	358	371
27			182	190	198	206	215	224	233	243	253	263	274	285	297	309	321	333	346	359	373	387	401
28			196	204	213	222	231	241	251	262	273	284	296	308	320	333	346	359	373	387	402	417	432
29				219	229	238	248	259	270	281	293	305	318	331	344	358	372	386	401	416	432	448	464
30				235	245	255	266	277	289	301	314	327	340	354	368	383	398	414	430	446	463	480	498
31				251	262	273	285	297	309	322	336	350	364	379	394	410	426	442	459	477	495	513	532
32				267	279	291	303	316	330	344	358	373	388	404	420	437	454	472	490	509	528	547	567
33					297	310	323	337	351	365	381	397	413	430	447	465	483	502	521	541	562	583	604
34					315	329	343	357	372	388	404	421	438	456	475	494	513	533	554	575	597	619	641
35					334	348	363	378	395	411	428	446	465	484	503	523	544	565	587	609	632	656	680
36					353	368	384	400	417	435	453	472	492	512	532	553	575	598	621	645	669	694	719
37					373	389	405	423	441	459	479	499	519	540	562	585	608	631	656	681	706	733	760
38					393	410	427	446	465	484	505	526	547	570	593	616	641	666	691	718	745	773	801
39						431	450	469	489	510	531	553	576	600	624	649	675	701	728	756	785	814	843
40							473	493	514	536	559	582	606	631	656	682	709	737	765	795	825	855	887

TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 4 cm

Dbh $D_{1.3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																						
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
5	3,5																						
6	5,4	5,4																					
7	7,9	7,9	8,0	8,1																			
8	10,7	10,9	11,0	11,2	11,4	11,6																	
9	14,3	14,5	14,7	15,0	15,4	15,7	16,1																
10	18,1	18,5	18,9	19,3	19,8	20,3	20,9	21,5	22,1														
11	23	23	24	24	25	26	26	27	28	29													
12	28	28	29	30	31	32	33	34	35	36	38												
13	33	34	35	36	37	38	40	41	42	44	45	47											
14	39	40	42	43	44	46	47	49	51	53	55	57	59										
15	46	47	49	50	52	54	56	58	60	62	64	67	69	72									
16	54	55	57	59	61	63	65	68	70	73	76	78	81	85	88								
17	62	64	66	68	70	73	76	78	81	84	88	91	95	98	102	106							
18	70	72	74	77	80	83	86	89	92	96	100	104	108	112	116	120	125						
19	78	81	84	87	90	93	97	100	104	108	112	117	121	126	131	136	141	147					
20	87	90	93	97	100	104	108	112	117	121	126	131	136	141	147	152	158	164	171				
21	96	100	103	107	111	116	120	125	130	135	140	146	151	157	163	170	176	183	190				
22		110	114	118	123	128	133	138	143	149	155	161	167	174	181	188	195	203	210	218			
23		121	125	130	135	140	146	152	158	164	171	177	189	192	199	207	215	223	232	241	250		
24		132	137	142	148	154	160	166	173	180	187	194	202	210	218	227	236	245	254	264	274		
25		144	149	155	161	168	174	181	189	196	204	212	221	230	239	248	257	267	277	288	299	310	
26			162	168	175	182	189	197	205	213	222	231	240	250	260	270	280	291	302	313	325	337	
27			175	182	189	197	205	213	222	231	240	250	260	270	281	292	303	315	327	339	352	365	379
28			189	196	204	212	221	230	239	249	259	270	281	292	303	315	327	340	353	366	380	394	409
29			203	211	220	229	238	248	258	268	279	290	302	314	326	339	352	366	380	395	450	425	440
30			218	227	236	245	255	266	277	288	299	311	324	337	350	364	378	393	408	424	440	456	473
31				242	252	262	273	284	296	308	320	333	347	361	375	390	405	421	437	454	471	488	506
32				258	269	280	291	303	316	329	343	356	370	385	401	416	433	450	467	484	503	521	541
33				275	286	298	310	323	336	350	265	379	395	411	427	444	461	479	497	516	536	556	576
34				292	304	317	330	344	358	373	388	403	420	437	454	472	490	509	529	549	570	591	613
35					323	336	350	364	379	395	411	428	445	463	482	501	520	541	561	583	605	627	650
36					342	356	370	386	402	418	435	453	472	491	510	530	551	573	595	617	640	664	689
37					361	376	392	408	425	442	460	479	499	519	539	561	583	605	629	653	677	702	728
38					381	397	413	430	448	467	486	506	526	547	569	592	615	639	664	689	715	741	769
39						418	435	453	472	492	512	533	555	577	600	624	648	673	699	726	753	781	810
40						440	458	477	497	517	539	561	583	607	631	656	682	709	736	764	793	822	852

BIRCH – *KOIVU*

Dbh $D_{1.3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																							
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 5 cm																						
7	7,2																						
8	9,8	9,8	9,9	9,9																			
9	13,1	13,2	13,3	13,5	13,7																		
10	16,8	17,0	17,2	17,4	17,7	18,1	18,5																
11	21	21	22	22	23	23	24	24	25														
12	26	26	27	28	28	29	30	30	31	32													
13	31	32	32	33	34	35	36	37	38	39	41												
14	37	38	39	40	41	42	43	45	46	48	49	51											
15	44	45	46	47	48	50	51	53	55	57	59	61	63										
16	51	52	54	55	57	59	60	62	65	67	69	72	74	77									
17	59	60	62	64	66	68	70	73	75	78	81	84	87	90	93								
18	66	68	70	73	75	77	80	83	86	89	92	96	99	103	107	111							
19	75	77	79	82	85	87	90	94	97	101	104	108	112	116	121	125	130						
20	84	86	89	92	95	98	101	105	109	113	117	122	126	131	136	141	147	152					
21	93	96	99	102	105	109	113	117	122	126	131	136	141	146	152	158	164	170	176				
22	102	106	109	113	117	121	125	130	135	140	145	151	157	163	169	175	182	189	196	203			
23		116	120	124	129	133	138	143	149	154	160	167	173	180	187	194	201	209	217	225			
24		127	131	136	141	146	152	157	163	170	176	183	190	197	205	213	221	229	238	247	256		
25		138	143	148	154	160	166	172	179	186	193	200	208	216	224	233	242	251	261	271	281		
26		150	156	161	167	173	180	187	194	202	210	218	226	235	244	254	264	274	284	295	306	317	329
27			169	175	181	188	195	203	211	219	228	237	246	255	265	276	286	297	309	320	332	345	357
28			182	189	196	203	211	219	228	237	246	256	266	276	287	298	310	322	334	347	360	373	387
29			196	203	211	219	228	237	246	255	265	276	287	298	310	322	334	347	360	374	388	402	417
30			210	218	227	235	244	254	264	274	285	297	308	320	333	346	359	373	387	402	417	433	448
31			225	234	243	252	262	272	253	294	306	318	331	344	357	371	385	400	415	431	447	404	481
32				250	259	269	280	291	303	315	327	340	354	367	382	397	412	428	444	461	479	496	515
33				266	276	287	298	310	323	336	349	363	377	392	407	423	440	457	474	492	511	530	549
34				283	294	305	318	330	343	357	371	386	402	418	434	451	468	486	505	524	544	564	585
35				300	312	324	337	351	365	379	394	410	427	443	461	479	498	517	537	557	578	599	621
36					331	344	357	372	387	402	418	435	452	470	489	508	528	548	569	591	613	636	659
37					350	363	378	393	409	425	443	460	479	498	518	538	558	580	602	625	649	673	697
38					369	384	399	415	432	449	467	486	506	526	547	568	590	613	637	661	685	711	737
39						405	421	438	456	474	493	513	533	555	577	599	622	647	672	697	723	750	777
40						426	443	461	480	499	519	540	562	584	607	631	656	681	707	734	761	790	819
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 6 cm																						
8	9,1	9,0																					
9	12,2	12,1	12,1																				
10	15,6	15,6	15,7	15,8	16,0																		
11	20	20	20	20	21	21	21																
12	24	25	25	25	26	26	27	27															
13	29	30	30	31	31	32	33	34	34														
14	35	36	36	37	38	39	40	41	42	43													
15	41	42	43	44	45	46	47	49	50	52	53												
16	48	49	50	52	53	54	56	58	59	61	63	65											
17	56	57	59	60	62	63	65	67	69	72	74	77	79										
18	64	65	67	68	70	72	75	77	79	82	85	88	91	94	98								
19	72	73	75	77	80	82	85	87	90	93	97	100	104	108	111	116							
20	80	82	84	87	89	92	95	98	102	105	109	113	117	121	126	131	135						
21	89	91	94	97	100	103	106	110	114	118	122	127	131	136	141	147	152	158					
22	98	101	104	107	111	114	118	122	127	131	136	141	146	152	157	163	169	176	182				
23	108	111	115	118	122	126	131	135	140	145	151	156	162	168	174	181	188	195	202				
24	119	122	126	130	134	139	144	149	154	160	166	172	178	185	192	199	207	215	223	231			
25	130	133	138	142	147	152	157	163	169	175	182	189	196	203	211	219	227	236	245	254	263		
26		145	150	155	160	166	172	178	184	191	198	206	214	222	230	239	248	258	267	277	288	298	
27		157	162	168	174	180	186	193	200	208	216	224	232	241	251	260	270	280	291	302	313	325	337
28		170	176	182	188	195	202	209	217	225	234	243	252	262	272	282	293	304	315	327	340	352	365
29		183	189	196	203	210	218	226	234	243	252	262	272	283	294	305	316	328	341	354	367	381	395
30			203	210	218	226	234	243	252	262	272	282	293	304	316	328	341	354	367	381	395	410	425
31			218	226	234	242	251	261	271	281	292	303	315	327	340	353	366	380	395	410	425	441	457
32			233	241	250	259	269	279	290	301	312	325	337	350	364	378	392	407	423	439	455	472	489
33			248	257	267	277	287	298	309	321	334	347	360	374	389	404	419	435	452	469	486	504	523
34				274	284	295	306	317	330	343	356	370	384	399	414	430	447	464	482	500	519	538	558
35				291	302	313	325	337	350	364	378	393	408	424	441	458	476	494	512	532	552	572	593
36				308	320	332	345	358	372	386	401	417	433	450	468	486	505	524	544	565	586	608	630
37					339	351	365	379	394	409	425	442	459	477	496	515	535	555	577	598	621	644	668
38					358	371	386	401	416	433	450	467	486	505	524	545	566	588	610	633	657	681	706
39					377	392	407	423	439	457	475	493	513	533	554	575	597	620	644	668	694	719	746
40						413	429	446	463	481	500	520	540	562	584	606	630	654	679	705	731	758	786

BIRCH – *KOIVU*

Dbh $D_{1.3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																							
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 7 cm																						
9	11,3	11,2																					
10	14,6	14,5	14,5	14,5																			
11	18	18	18	19	19																		
12	23	23	23	23	24	24																	
13	28	28	28	28	29	29	30																
14	33	33	34	34	35	36	36	37															
15	39	40	40	41	42	42	43	45	46														
16	46	47	47	48	49	50	52	53	54	56													
17	53	54	55	56	58	59	61	62	64	66	68												
18	61	62	63	64	66	68	70	72	74	76	78	81											
19	69	70	71	73	75	77	79	81	84	87	90	93	96										
20	77	78	80	82	84	87	89	92	95	98	101	105	109	112									
21	86	88	90	92	94	97	100	103	107	110	114	118	122	126	131								
22	95	97	100	102	105	108	112	115	119	123	127	132	136	141	147	152	158						
23	105	107	110	113	116	120	124	128	132	136	141	146	152	157	163	169	175	182	189				
24	115	118	121	124	128	132	136	141	146	151	156	162	168	174	180	187	194	201	208	216			
25	125	129	132	136	140	145	149	154	160	165	171	178	184	191	198	205	213	221	229	238	247		
26	136	140	144	148	153	158	163	169	175	181	187	194	202	209	217	225	233	242	251	261	270	280	
27	148	152	156	161	166	172	178	184	190	197	204	212	220	228	236	245	255	264	274	284	295	306	317
28	160	164	170	174	180	186	193	199	206	214	222	230	239	248	257	267	277	287	298	309	320	332	345
29	172	177	183	188	194	201	208	215	223	231	240	249	258	268	278	289	300	311	323	335	347	360	373
30		190	196	203	210	217	224	232	241	250	259	268	278	289	300	311	323	335	348	361	375	389	403
31		204	211	218	225	233	241	249	259	268	278	289	300	311	323	335	348	361	375	389	403	418	433
32			225	233	241	249	258	267	277	287	298	310	322	334	346	359	373	387	402	417	433	449	465
33			241	249	257	266	276	286	296	307	319	331	344	357	371	385	399	414	430	446	463	480	498
34			256	265	274	284	294	305	316	328	340	353	367	381	396	411	426	442	459	477	494	513	532
35				282	291	302	313	324	336	349	362	376	391	406	421	437	454	471	489	508	527	546	566
36				299	309	320	332	344	357	371	385	400	415	431	448	465	483	501	520	540	560	581	602
37				316	328	340	352	365	379	393	408	424	440	457	475	493	512	532	552	573	594	616	639
38					347	359	372	386	401	416	432	449	466	484	503	522	542	563	584	606	629	652	676
39					366	379	393	408	424	440	457	474	493	512	531	552	573	595	618	641	665	690	715
40						400	415	430	447	464	482	500	520	540	561	582	605	628	652	676	702	728	755
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 8 cm																						
10	13,7	13,6																					
11	17	17	17																				
12	22	22	22	22																			
13	26	26	26	26	27																		
14	31	32	32	32	32	33																	
15	37	37	38	38	39	39	40																
16	44	44	45	45	46	47	48	49															
17	51	52	52	53	54	55	56	58	59														
18	58	59	60	61	62	63	65	66	68	70													
19	66	67	68	69	71	72	74	76	78	80	83												
20	74	75	76	78	80	82	84	86	89	91	94	97											
21	82	84	85	87	89	92	94	97	100	103	106	110	113										
22	91	93	95	97	100	102	105	108	112	115	119	123	127	132									
23	101	103	105	108	111	114	117	120	124	128	132	137	142	147	152								
24	111	113	116	119	122	125	129	133	137	142	147	152	157	163	169	175							
25	121	124	127	130	134	138	142	146	151	156	162	167	173	179	186	193	200						
26	132	135	138	142	146	151	155	160	166	171	177	183	190	197	204	211	219	227					
27	143	147	151	155	159	164	169	175	181	187	193	200	207	215	223	231	240	249	258	268			
28	155	159	163	168	173	178	184	190	196	203	210	218	226	234	243	252	261	271	281	291	302		
29	167	171	176	181	187	193	199	206	213	220	228	236	245	254	263	272	283	294	305	316	328	340	353
30	180	185	190	195	201	208	215	222	230	238	246	255	264	274	284	295	306	318	330	342	355	368	381
31		198	204	210	216	223	231	239	247	256	265	275	285	295	307	318	330	342	355	368	382	396	411
32		212	218	225	232	240	248	256	265	275	285	295	306	317	329	342	355	368	382	396	411	426	442
33		226	233	240	248	256	265	274	284	294	305	316	328	340	353	366	380	394	409	425	441	457	474
34			248	256	265	273	283	293	303	314	326	338	351	364	378	392	406	422	438	454	471	488	506
35			264	273	282	291	301	312	323	335	347	360	374	388	403	418	433	450	467	484	502	521	540
36			281	290	299	309	320	331	343	356	369	383	398	413	428	444	461	479	497	515	535	555	575
37				307	317	328	340	352	365	378	392	407	422	438	455	472	490	508	528	548	568	589	611
38				325	336	347	360	372	386	400	415	431	447	464	482	500	519	539	559	580	602	624	648
39					355	367	380	394	408	423	439	456	473	491	510	529	549	570	592	614	637	661	685
40					374	387	401	416	431	447	464	481	500	519	539	559	580	602	625	649	673	698	724

BIRCH – *KOIVU*

Dbh $D_{1.3}$ cm	Tree height, m – *Puun pituus, m*																					
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Stem weight, kg – *Rungon paino, kg*																						
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 9 cm																						
11	16																						
12	21	20																					
13	25	25	25																				
14	30	30	30	30																			
15	35	35	36	36	36																		
16	42	42	42	43	43	44																	
17	49	49	49	50	51	51	52																
18	56	56	57	57	58	59	60	62															
19	63	64	64	65	67	68	69	71	73														
20	71	72	73	74	75	77	79	81	83	85													
21	79	80	82	83	85	87	89	91	93	96	99												
22	88	89	91	93	95	97	99	102	105	108	111	115											
23	97	99	101	103	105	108	110	113	117	120	124	128	132										
24	107	109	111	113	116	119	122	126	129	133	138	142	147	152									
25	117	119	122	125	128	131	135	139	143	147	152	157	163	168	174								
26	128	130	133	136	140	144	148	152	157	162	167	173	179	185	192	199							
27	139	142	145	149	153	157	161	166	171	177	183	189	196	203	210	218	226						
28	150	154	157	161	166	170	175	181	187	193	199	206	213	221	229	237	246	255					
29	162	166	170	174	179	184	190	196	202	209	216	224	232	240	249	258	268	278	288				
30	175	179	183	188	193	199	205	212	219	226	234	242	251	260	270	280	290	301	312	323			
31	188	192	197	202	208	214	221	228	236	244	252	261	271	281	291	302	313	325	337	349	362		
32		206	211	217	223	230	237	245	254	262	271	281	291	302	313	325	337	349	362	376	390	404	
33		220	226	232	239	246	254	263	272	281	291	302	313	324	336	349	362	375	389	404	419	434	450
34		235	241	248	255	263	272	281	291	301	311	323	335	347	360	373	387	402	417	432	448	465	482
35			257	264	272	281	290	300	310	321	332	344	357	370	384	398	413	429	445	462	479	497	515
36			273	281	290	299	308	319	330	342	354	367	380	395	410	425	440	457	474	492	510	529	549
37			289	298	307	317	327	339	351	363	376	390	404	419	435	451	468	486	504	523	543	563	584
38				315	325	336	347	359	372	385	399	414	429	445	462	479	497	516	535	555	576	597	619
39				333	344	355	367	380	393	407	422	438	454	471	489	508	527	547	567	588	610	633	656
40				352	363	375	388	401	416	431	446	463	480	498	517	536	557	578	599	622	645	669	694
	TAPER CLASS – *KAPENEMISLUOKKA* 10 cm																						
13	24																						
14	29																						
15	34	34																					
16	40	40																					
17	47	47	47																				
18	53	54	54	54																			
19	61	61	61	62	63																		
20	68	69	69	70	71	72																	
21	76	77	78	79	80	82	83																
22	85	86	87	88	90	92	94	96															
23	94	95	96	98	100	102	104	107	110														
24	104	105	107	108	111	113	116	119	122	126													
25	113	115	117	119	122	125	128	131	135	139	143												
26	124	126	128	131	134	137	140	144	148	153	158												
27	135	137	140	143	146	150	154	158	163	168	173	179											
28	146	149	152	155	159	163	167	172	177	183	189	195	202										
29	158	161	164	168	172	177	182	187	193	199	205	212	219	227									
30	170	173	177	181	186	191	196	202	209	215	222	230	238	246	255								
31	183	186	191	195	200	206	212	218	225	232	240	249	257	266	276	286							
32	196	200	205	210	215	221	228	235	242	250	259	268	277	287	297	308	320						
33		214	219	225	231	237	244	252	260	269	278	288	298	309	320	332	344	356					
34		228	234	240	247	254	262	270	278	288	298	308	319	331	343	355	368	382	396				
35			249	256	263	271	279	288	297	307	318	329	341	353	366	380	394	409	424	439			
36			265	272	280	288	297	307	317	328	339	351	364	377	391	405	420	436	452	469	487		
37			281	289	297	306	316	326	337	349	361	374	387	401	416	432	448	464	482	500	518	538	
38				306	315	325	335	346	358	370	383	397	411	426	442	458	476	493	512	531	551	571	592
39				324	333	344	355	366	379	392	406	421	436	452	469	486	504	523	543	563	584	606	628
40				342	352	363	375	387	401	415	429	445	461	478	496	514	534	554	574	596	618	641	665

KUITUPUUN METSÄVARASTOINNIN VAIKUTUS MASSAN SAANTOON JA LAATUUN

OSMO PEKKALA ja OLLI UUSVAARA

Summary

STORAGE OF PULPWOOD IN THE FOREST AND ITS EFFECT ON THE YIELD AND QUALITY OF PULP

HELSINKI 1980

ODC 861.0:848.41
ISBN 951-40-0431-0
ISSN 0026-1610

PEKKALA, O. & UUSVAARA, O. 1980. Kuitupuun metsävarastoinnin vaikutus massan saantoon ja laatuun. Summary: Storage of pulpwood in the forest and its effect on the yield and quality of pulp. Commun. Inst. For. Fenn. 96 (4): 1—24.

Tutkimuksessa tarkastellaan varastointiajan vaikutusta männystä, kuusesta, koivusta ja haavasta valmistetun kuitupuun pintaosien puuaineeseen sekä niistä saadun massan saantoon ja laatuun. Kolmen varastointikesän jälkeen olivat mänty- ja kuusipölkyt lahonneet ja sinistyneet sydänpuun rajalle asti ja koivu sekä haapapölkyt myös keskiosistaan. Varastointi ei vaikuttanut sanottavasti puuaineen kuiva-tuoretiheyteen vielä ensimmäisen kesän aikana, mutta yli kolmen kasvukauden jatkunut varastointi aiheutti kuiva-tuoretiheydessä 15—25 kg/m³ eli 4—5 prosenttiyksikön aleneman kiinteiden koekappaleiden, mutta 10—18 % vähennyksen hakemittausten perusteella.

Massan saanto aleni Etelä-Suomessa kolmen varastointikesän jälkeen männyllä, kuusella ja koivulla noin 0,5, 3,0 ja 2,5 prosenttiyksikköä. Haavalla ja pohjoissuomalaisella männyllä massan saanto puusta laskettuna oli sen sijaan tuoreen varastoimattoman puun saantoa parempi.

Puun kulutus valkaistua massatonnia kohti kasvoi kolmen varastointikesän jälkeen männyllä 10—15 %, kuusella noin 5 % sekä koivulla ja haavalla 20—25 %.

Valkaistun massan paperitekniset ominaisuudet muuttuivat suhteellisen vähän varastoinnin aikana. Kolme kesäkautta varastoiduista mänty- ja kuusipölkyistä valmistettujen massojen lujuustulot olivat 5 % ja koivumassojen 20 % huonompia, kun taas haapamassan lujuustulo oli noin 5 % parempi kuin varastoimattomasta raaka-aineesta saatujen massojen lujuustulot.

The effect of storage time on the sapwood of pulpwood made of pine, spruce, birch and aspen and on the yield and quality of the pulp obtained from them was studied. After three summers of storage the pine and spruce bolts had decayed and were blue-stained right through to the heartwood and the birch and aspen bolts were also affected in the middle. Storage did not affect the basic density to any appreciable extent during the first summer, but after three growing seasons the basic density decreased by 15—25 kg/m³, 4—5 per cent units, judged by solid test pieces and by 10—18 % judged by chip measurements.

The pulp yield declined in Southern Finland after three summers of storage by about 0,5, 3,0 and 2,5 per cent units, respectively, for pine, spruce and birch. The pulp yield of aspen and North-Finnish pine calculated from wood was better than the yield of green wood.

The consumption of wood per ton of bleached pulp increased after three summers of strorage by 10—15 % for pine, about 5 % for spruce and by 20—35 % for birch and aspen.

The paper-technical properties of bleached pulp changed relatively little as a result of storage of the wood. The beating products of pulps made of pine and spruce bolts stored for three summer seasons were 5 % and those of birch pulps 20 % poorer, but those of aspen pulp approx. 5 % better than the beating products of pulps obtained from unstored raw material.

Helsinki 1980. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 4
2. TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄ 5
   21. Puumateriaali ja sen käsittely 5
   22. Keitot ja valkaisut 6
3. TULOKSET 7
   31. Puuaineen muutokset 7
   32. Keittokokeet 13
   33. Valkaisukokeet 17
   34. Massojen paperitekniset ominaisuudet 19
4. TIIVISTELMÄ 21

KIRJALLISUUS 22

SUMMARY 24

1. JOHDANTO

Kuorellista kuitupuuta säilytetään metsävarastoinnissa yleisesti yli yhden kasvukauden ja kauemminkin, jolloin puut joutuvat alttiiksi kaarnakuoriaisten sekä sinistäjä- ja lahottajasienten aiheuttamalle pilaantumiselle. Sinistäjä- ja lahottajasienistä johtuvan varastopilaantumisen on todettu aiheuttavan huomattavaa massan saannon pienenemistä, laadun heikkenemistä ja keittokemikaalien kulutuksen lisääntymistä jo lyhytaikaisessakin varastoinnissa (Wilhelmsen 1974). Merkittäviä raaka-ainetappioita tapahtuu lisäksi myös lahon puun kuorinnan ja haketuksen yhteydessä (Kawase ja Igarashi 1970).

Sekä teollisuuden että tutkimuksen piirissä on kiinnitetty huomiota lähinnä puutavaran pitkäaikaisen varastoinnin seurausvaikutuksiin (mm. Björkman ym. 1964, Henningsson 1962, 1964, Henningsson ja Tamminen 1961, Alhojärvi ym. 1964, Wilhelmsen 1968 a, Loråss ja Wilhelmsen 1974, Wallin 1975, Kesäniemi 1976, Protection of wood...1977, Saukkonen 1977, Lönnberg ja Ala-Porkkunen 1979, Tamminen 1979). Myös puutavaran lyhytaikaista varastointia ja erityisesti hyönteisten osuutta pilaantumisprosessissa on tutkittu Suomessa jonkin verran puutavaran laadun kannalta (Löyttyniemi ja Uusvaara 1972, 1977, Uusvaara ja Löyttyniemi 1975, 1977, Löyttyniemi ym. 1978).

Tutkimuksessa pyritään selvittämään varastointiajan vaikutusta männystä, kuusesta, koivusta ja haavasta valmistetun kuitupuun puuaineeseen sekä massan saantoon ja laatuun. Tutkimuksessa tarkastellaan muutamissa pienissä kuitupuupinoissa varastoinnin aikana tapahtuvia muutoksia. Keskittymällä pelkästään pölkkyjen helposti pilaantuvaan pintapuuhun tuodaan korostetusti esille varastoinnin vaikutus puuaineeseen ja siitä valmistettuun massaan. Näin toivotaan voitavan saada esituloksia ja viitteitä myöhemmin ehkä tehtäviä laajempia tutkimuksia varten. Tutkimus on jatkoa Metsäntutkimuslaitoksessa jo aiemmin julkaistuun saha- ja kuitupuun varastopilaantumista koskevaan tutkimussarjaan.

Tutkimus suoritettiin Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosastolla yhteistyössä Keskuslaboratorion kanssa. Olli Uusvaara suunnitteli tutkimuksen, hankki tarvittavan materiaalin ja kirjoitti käsikirjoituksen massan keittokokeiden tuloksia esittelevään osaan asti. Osmo Pekkala johti massan keittokokeet Oy Keskuslaboratoriossa ja kirjoitti niitä koskevat tutkimustulokset. Käsikirjoituksen tarkastivat prof. Pentti Hakkila ja vt. prof. Pentti Nisula Metsäntutkimuslaitoksesta sekä fil. maist. Ilpo Palenius ja tekn. toht. Bruno Lönnberg Keskuslaboratoriosta. Kirjoittajat lausuvat kiitokset kaikille, jotka auttoivat tutkimuksen kenttä- ja laboratoriotöiden toteuttamisessa sekä käsikirjoituksen valmistamisessa.

2. TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄ

21. Puumateriaali ja sen käsittely

Tutkimuksen aineiston muodostivat Etelä-Suomessa Liljendahlissa varastoidut mänty- (*Pinus sylvestris*), kuusi- (*Picea abies*) ja koivukuitupuut (*Betula pubescens*) sekä lähellä edellämainittua paikkakuntaa Lapinjärvellä varastoidut haapakuitupuut (*Populus tremula*). Vertailuksi varastoitiin Pohjois-Suomessa, Laanilassa mäntykuitupuuta.

Etelä-Suomessa mänty ja kuusi, jotka olivat iältään 75- ja 60-vuotiaita, kasvoivat tyypillisessä, säännöllisesti metsänhoidollisin hakkuin käsitellyssä puolukkatyypin (VT) metsikössä. Koivu oli peräisin mustikkatyypin (MT) ja haapa jonkin verran soistuneen käenkaali-mustikkatyypin (OMT) metsiköstä. Koivu ja haapa olivat iältään noin 60- ja 40-vuotiaita. Laanilan koepuut olivat noin 150-vuotiaita ja kasvoivat mustikka-kanerva-jäkälätyypin (MCClT) koskemattomassa metsikössä.

Puut kaadettiin keväällä 1974 ennen lumen täydellistä sulamista ja valmistettiin 2,5-metriseksi kuitupuuksi. Kustakin puulajista tehtiin aluspuiden päälle samaan metsikköön kaksi pinoa, jotka varustettiin sivuilta tukipuin. Kun kuhunkin pinoon tehtiin 8—15 kappaletta pölkkyjä, vaihteli kutakin puulajia kohti tarvittavien runkojen määrä 4—6 kappaleeseen. Koepinot olivat siis tavanomaista käytäntöä paljon pienempiä, mikä on vaikuttanut osaltaan pölkkyjen kuivumiseen ja pilaantumiseen.

Pinojen valmistuttua kunkin pinon toisen pään kaikkien pölkkyjen päistä sahattiin pilaantumattomiksi vertailunäytteiksi läpi pinon noin 40 cm pituiset kappaleet. Nämä kuorittiin, jonka jälkeen kustakin tällaisesta näytepölkystä lohkottiin pintapuun alueelta kolme sälettä pölkkyä välillä kääntäen. Kustakin puulajista näin kertyneet säleet sekoitettiin, jonka jälkeen lopulliseksi näytteeksi arvottiin pilkkeitä noin kuusi kilogrammaa.

Arvotuista sälenäytteistä otettiin edelleen arpoen 10 kpl noin 15 cm:n pituisia paloja puulajia kohti puuaineen kosteussuhteen ja puuaineen kuiva-tuoretiheyden määritystä varten siten, että suuria oksia vältettiin. Jäljelle jääneet säleet kuivattiin ja toimitettiin Keskuslaboratorioon haketusta ja keittokokeita varten.

Ensimmäisen, toisen ja kolmannen kasvukauden jälkeisenä syksynä puiden kaadosta lukien kaikista koepinoista otettiin jälleen näytteet edellä kuvatulla tavalla. Viimeiset pilaantuneet näytteet otettiin siten syksyllä 1976. Laanilan koepinoista tehtiin analyysit Keskuslaboratoriossa vain kaksi kesäkautta varastoidusta materiaalista. Koepölkyt sahattiin aina kuitupuupöllien samasta päästä kuitenkin siten, että pöllin päästä poistettiin ensin noin 5 cm:n levyinen tummunut osa. Kustakin koeerästä otettiin myös kosteussuhteen ja kuiva-tuoretiheyden määrityksessä tarvittavat näytteet edellä esitetyllä tavalla.

Kunkin varastoimiskauden päättyessä pinot tarkastettiin ja sinistymän, lahon ja hyönteisvahinkojen leviäminen todettiin. Puuaineksen pilaantuminen selvitettiin silmävaraisesti katkaisupintoja sekä halkaistujen koepuiden sisäosia tarkastelemalla. Hyönteislajit ja hyönteisviat selvitettiin koepölkkyjen halkaisupinnoista ja kuoren alta.

22. Keitot ja valkaisut

Laboratoriokäsittelyssä keitot suoritettiin Mg-bisulfiittikeittoina Keskuslaboratorion 2,5 litran pakkokiertokeittimissä seuraavissa olosuhteissa:

Hakeannos	400 g (abs. kuiv.)
Mg-sulfiittiliuos: pH	4,0
kok.-SO_2	5,0 %
Hakkeen esihöyrytys	110°/10 min.
Paineimeytys	3 bar/30 min.
Nosto 80° → 105°	120 min.
Happo/puu -suhde	4: 1 (säätö 105°:ssa)
Nosto 105° → 155°	75 min.
Keittoaika 155°:ssa	270—360 min.

Keiton jälkeen massat pestiin, niiden annettiin seistä vedessä yli yön ja ne lajiteltiin seuraavana päivänä. Massan saanto, tikkupitoisuus, kappaluku, DKM-uute ja vaaleus määritettiin. Jäteliuoksesta määritettiin pH ja SO_2.

Valkaisut suoritettiin CEHD-sekvenssillä. Olosuhteet olivat seuraavat:

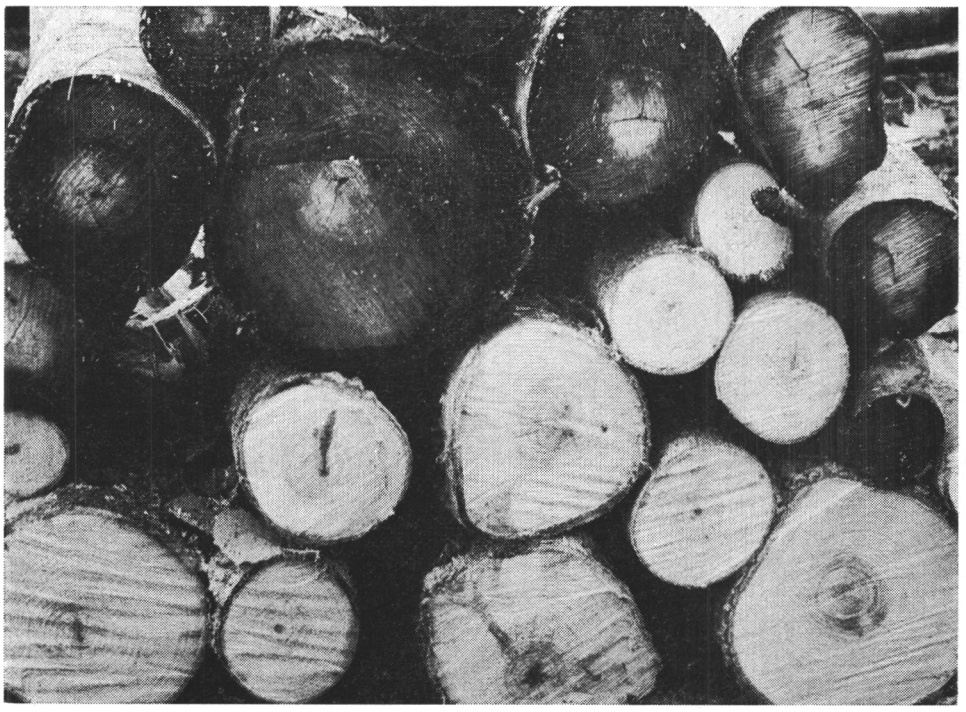
Vaihe	C	E	H	D	a
Sakeus, %	3	10	10	10	2
Lämpötila, °C	20	40	40	60	20
Aika, min.	30	60	60	180	15
Loppu-pH	<2	>11	~10	~4	4—5

Valkaisun jälkeen määritettiin kemikaalien kulutus, massan saanto, vaaleus, viskositeetti ja jälkikellertyminen. Valkaistujen massojen normaalit lujuusominaisuudet määritettiin PFI-jauhatuksen jälkeen.

3. TULOKSET

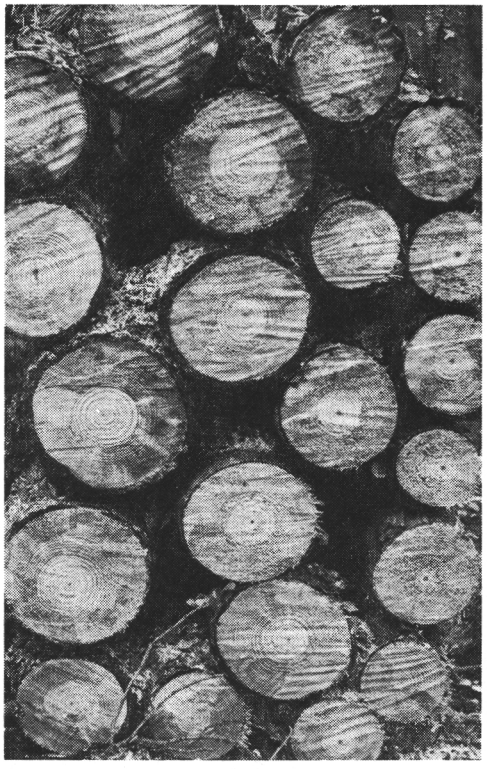
31. Puuaineen muutokset

Etelä-Suomessa pääosa yli yhden kesän varastoitujen mäntykuitupuiden pintapuusta oli jo syksyllä sinistynyt, ja pölkyissä esiintyi jonkin verran myös kovaa, vaaleanruskeaa lahoa. Kuusi säilyi jonkin verran mäntyä paremmin. Erityisesti kuusi oli kuitenkin pahasti sinistynyt tikaskuoriaisen (*Trypodendron lineatum* Oliv.) kaivamien reikien ympäristöstä. Koivukuitupuissa esiintyi kauttaaltaan ruskeanharmaata värivikaa, ja pilaantumattomia läikkiä oli vain vähän. Myös lahon kehittyminen oli päässyt alkuun. Pinojen ja pölkkyjen sisäosat säilyivät pintakerrosta paremmin.



Kuva 1. Yli yhden kesäkauden varastoitujen haapapölkkyjen päät ovat tummuneet, mutta puuaine on sisältä tervettä.

Fig. 1 The ends of aspen bolts stored over one summer season had grown darker but the wood was sound inside.

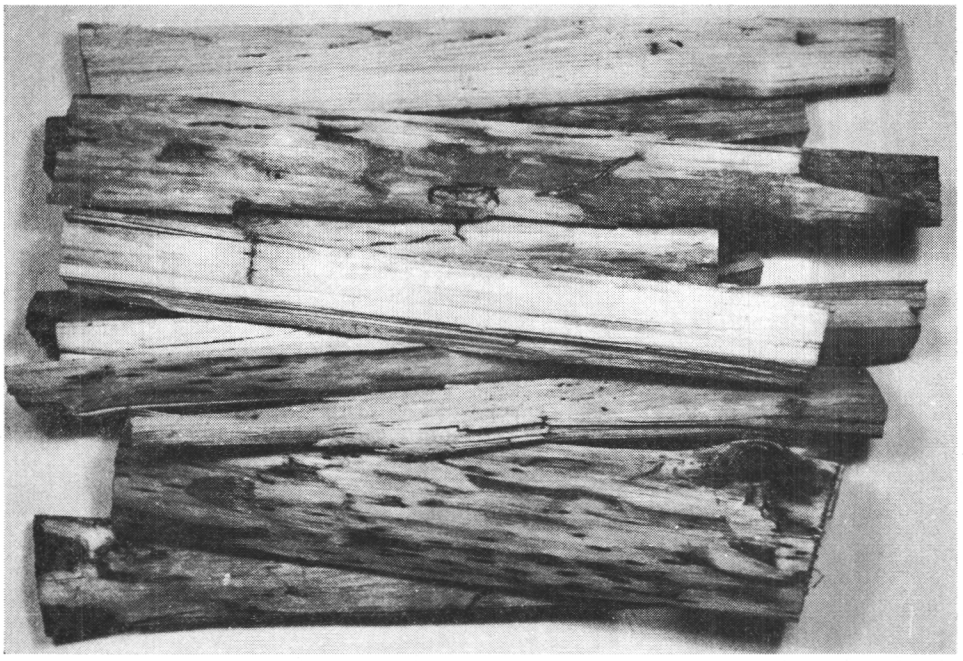


Kuva 2. Kaksi vuotta metsässä varastoitua mäntykuitupuuta.
Fig. 2. Pine pulpwood stored in the forest for two years.

Tutkituista puulajeista haapa säilyi havupuita sekä koivua paremmin (vrt. Henningsson 1967). Ensimmäisen varastointikesän jälkeen pölkkyjen katkaisupinnat olivat mustuneet, ja siellä täällä kuoren alla havaittiin väriläikkiä. Sisältä puuaines oli kuitenkin tervettä, ja kuori tuoretta ja kiinni puussa (kuva 1). Lahoa ei havaittu lainkaan. Hakkilan (1962) tutkimuksessa havainnoitiin kuorellisen haapakuitupuun katkaisupinnoissa yhden kesän varastoinnin jälkeen 63 % lahovikaista puuta. Erittäin sateinen kesä saattoi vaikuttaa oleellisesti pölkkyjen säilyvyyteen Etelä-Suomen kokeissa.

Pohjois-Suomen koepuissa esiintyi sinistymää sekä alkavaa lahoa huomattavasti vähemmän kuin Lapinjärvellä. Mm. tästä syystä puusta tehdyn jauheen vaaleus aleni Pohjois-Suomen männyllä huomattavasti Etelä-Suomen mäntyä vähemmän (s. 13).

Toisen kesäkauden jälkeen oli Etelä-Suomessa varastoidun mäntykuitupuun mantopuuosa lähes kauttaaltaan sinistynyttä ja lahonnutta (kuvat 2 ja 3). Laho oli kuitenkin vielä yleensä kovaa. Kuori oli suurimmaksi osaksi pudonnut pois tai oli irti. Kuusi oli sinistynyt kuten mäntykin, mutta pehmeää lahoa esiintyi enemmän kuin männyssä (kuva 4).



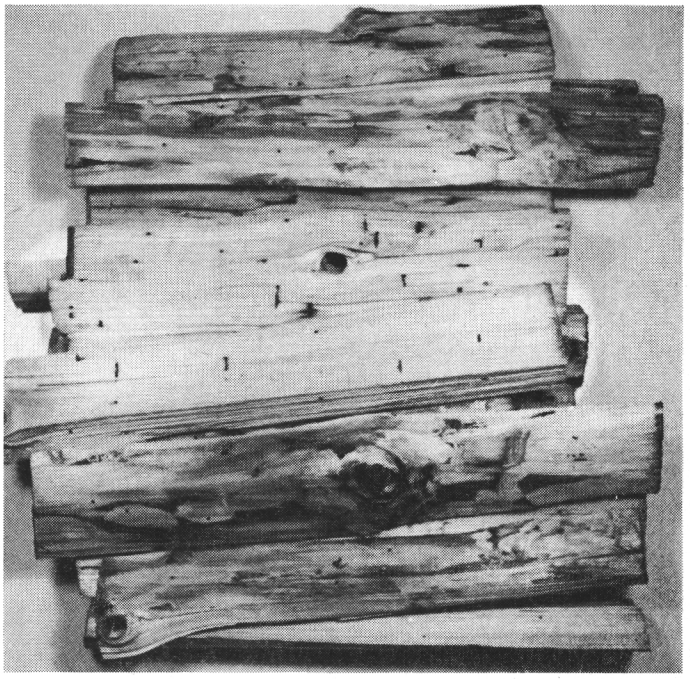
Kuva 3. Kaksi vuotta varastoitujen mäntypölkkyjen pintapuu on lähes kauttaaltaan sinistynyttä ja lahonnutta.

Fig. 3. The sapwood of pine bolts stored for two years is blue-stained and decayed almost throughout.

Koivupinoissa olivat kaikki puut runsaasti lahonneet. Pinon ja näytepölkkyjen keskiosissa oli kuitenkin vielä joitakin terveeltä näyttäviä läikkiä. Laho oli koivulla tyypillistä juovikasta, mutta vielä suhteellisen kovaa lahoa (kuva 5). Myös haapapölkyt olivat voimakkaasti värivikaisia, sinistymä kattoi noin puolet katkaisupinnoista. Ruskeaa, kovaa lahoa esiintyi jonkin verran. Poikkeuksellisen lauha ja sateinen talvi 1974—75 on saattanut jossakin määrin edistää värivikojen lisääntymistä myös kylmänä vuodenaikana.

Myös Pohjois-Suomen koepuissa olivat sinistymä ja laho lisääntyneet, mutta pölkyt olivat säilyneet Etelä-Suomen puita paremmin (vrt. s. 13).

Kolmannen varastoimisvuoden syksynä olivat mänty- ja kuusipölkyt lahonneet ja sinistyneet täysin sydänpuuhun asti, ja koivupölkyt myös keskiosistaan (vrt. Heiskanen 1959). Laho oli edelleenkin pääasiassa kovaa, mutta myös pehmeitä ja murenevia alueita esiintyi paikoittain. Koivun laho oli muuttunut väriltään valkoisen ja ruskean kirjavaksi. Pinojen pohjalla pölkyt olivat edelleenkin säilyneet hieman paremmin kuin pinojen muissa osissa. Myös haapa oli pahoin lahonnutta. Laho oli väriltään vaaleaa ja ruskeaa sekä enimmäkseen kovaa. Toisena ja kolmantena varastointikesänä vallitsivat Etelä-Suomessa suurelta osin hyvin lämpimät ja vähäsateiset sääolot, mikä edisti pölkkyjen kuivumista ja säilymistä.



Kuva 4. Sinistäjäsienten lisäksi on kaarnakuoriaisilla, erityisesti havupuun tikaskuoriaisella (*Trypodendron lineatum*), huomattava merkitys kuusipuun pilaantumisessa.
Fig. 4. In addition to blue-stain fungi bark beetles, especially Trypodendron lineatum, play a notable role in the decay of spruce.



Kuva 5. Kaksi vuotta metsässä varastoitua koivukuitupuuta.
Fig. 5. Birch pulpwood stored in the forest for two years.

Pohjois-Suomen mäntypölkyissä oli kolmannen varastointivuoden jälkeen noin kolmannes mantopuun alasta voimakkaasti sinistynyt, erityisesti kohdista, joissa oli alunperin ollut kaarnakuoriaisia. Kovaa lahoa esiintyi myös runsaasti.

Sekä Lapinjärven että Laanilan mäntypölkyissä ja erityisesti kuusipölkyissä esiintyi runsaasti tikaskuoriaista (*Trypodendron lineatum* Oliv.), jonka reikien ympäristöt sinistyivät ja lahosivat voimakkaasti (kuva 4). Muuten männyssä tärkeimpiä kuoren alla esiintyneitä hyönteislajeja olivat Lapinjärven alueella pystynävertäjä (*Tomicus piniperda* L.), vaakanävertäjä (*Tomicus minor* Hart.) ja *Orthotomicus*-laji sekä kuusessa kuusentähtikirjaaja (*Pityogenes chalcographus* L.), vaippaniluri (*Hylurgops palliatus* Gyll.) ja kirjanpainaja (*Ips typographus* L.). Jääriä ei sanottavasti esiintynyt.

Tärkeimmät koivussa esiintyneet kuoriaiset olivat koivunmantokuoriainen (*Scolytus ratzeburgi* Jans.), lehtipuupiirtäjä (*Hylecoetus dermestoides* L.) ja lehtipuuntikaskuoriainen (*Trypodendron lineatum* O.). Haavassa ei esiintynyt hyönteisiä.

Metsäntutkimuslaitoksessa suoritettujen kokeiden mukaan vaihteli eri puulajien puuaineen kuiva-tuoretiheys varastointiajan pituuden mukaan Lapinjärvellä seuraavasti. Tuloksissa on mukana puun sisäisten oksien aiheuttama vaihtelu.

Varastointi-aika, a	Mänty	Kuusi	Koivu	Haapa
	Kuiva-tuoretiheys, kg/m³			
0	496	415	464	349
1	494	413	465	348
2	470	413	455	333
3	471	399	445	334
Keskimäärin	483	410	457	341

Puuaineen kuiva-tuoretiheys ei siis muuttunut tässä kokeessa ensimmäisen varastointikesän kuluessa juuri lainkaan, mutta pitkäaikainen varastointi alensi sitä Etelä-Suomessa 15—25 kg/m³ eli 4—5 %.

Kuiva-tuoretiheysluvuissa esiintyy puuaineen sisältämien oksien vuoksi jonkin verran epäsäännöllistä vaihtelua. Oksapuu on nimittäin huomattavasti normaalia puuainetta tiheämpää (Hakkila 1969, Lehtonen ym. 1978). Ilmeisesti tästä syystä myös mänty on ollut, päinvastoin kuin normaalisti, koivupuuta tiheämpää. Männyn korkeampi tiheys johtunee osittain myös siitä, että mäntynäytteet käsittivät vain pintapuuta, jonka kuiva-tuoretiheys on sydänpuuta korkeampi. Samantapaista, ilmeisesti pääasiassa oksista johtuvaa kuiva-tuoretiheyden vaihtelua on havaittavissa myös Keskuslaboratorion saamissa tiheysluvuissa (s. 14). Sekä Metsäntutkimuslaitoksessa että Keskuslaboratoriossa määritetyt tiheydet vastaavat verrattain hyvin toisiaan. Keskuslaboratoriossa kuiva-tuoretiheydet on kuitenkin määritelty hakkeesta (taulukot 1—2), mikä johtaa kiinteitä kappaleita epävarmempiin tuloksiin etenkin haketuksen yhteydessä murenevassa lahossa puuaineksessa (Kawase ja Igarashi 1970, Kärkkäinen 1976).

Laanilassa mäntypölkkyjen kuiva-tuoretiheys aleni varastoinnin aikana seuraavasti.

Varastointiaika, a			
0	1	2	3
Kuiva-tuoretiheys, kg/m³			
423	415	410	400

Norjassa suoritetuissa kokeissa oli kuorellisen koivun ainehäviö ensimmäisen ja toisen varastointivuoden jälkeen 4—5 % ja 10—14 % (Wilhelmsen 1968 a). Kuorellista kuusipinotavaraa koskevissa tutkimuksissa oli ainehäviö yhden kesän jälkeen vastaavasti 4 % (Wilhelmsen 1968 b). Keski-Ruotsissa mitattiin kuorellisen koivu- ja haapakuitupuun ainehäviöksi yhden vuoden varastoinnin jälkeen 3—5 %, joskus jopa 10 % (Henningsson 1967). Ilmasto ja sääolosuhteet aiheuttavat kuitenkin tutkimustuloksiin suurta vaihtelua. Ruotsin eri osissa suoritetuissa 3-metrisen kuitupuun varastointikokeissa saatiin 3.5 vuoden aikana seuraavat keskimääräiset tiheyden alenemat (Tamminen 1979).

	Tiheyden alenema, kg/m³		
	Mänty	Kuusi	Koivu
Pohjois-Ruotsi	10	3	34
Keski- ja Etelä-Ruotsi	31	9	78

Prosentteina kuiva-tuoretiheydestä ilmaistut kuiva-ainetappiot vaihtelivat saman ajanjakson jälkeen männyllä, kuusella ja koivulla 6,0—12,1, 0,8—5,8 ja 7,3—18,9 prosenttiyksikköön. Edellä esitettyihin lukuihin verrattuna kuiva-ainetappiot jäivät käsillä olevassa tutkimuksessa osittain vähäisemmiksi.

Eri puulajien kosteussuhde oli varastointiaikana puulajeittain seuraava.

Varastointi-aika, a	Puulaji							
	Mänty	Kuusi	Koivu	Haapa	Mänty	Kuusi	Koivu	Haapa
	Kosteussuhde, %				Vaihteluväli, %			
0	115	110	99	117	84—127	97—125	34—109	114—121
1	61	69	81	65	48— 78	55— 84	77— 88	48— 69
2	46	37	69	81	19— 67	27— 48	38— 87	74— 94
3	77	51	64	97	46—120	26— 98	52— 85	45—133

Asetelma osoittaa, miten varastoinnin pidetessä kosteussuhde ensin laski, mutta myöhemmin lahon edetessä jälleen nousi. Kuivuminen oli kokeissa käytetyissä pienissä koepinoissa nopeampaa kuin varastoidun puutavaran kuivuminen yleensä. Kuivumista edisti myös pölkkyjen lyhyys.

Heiskasen (1959) tutkimuksissa kuorellisen koivupinotavaran alhaisimmat kosteussuhteet vaihtelivat 2—3 vuoden varastoinnin jälkeen 55 ja 63 prosenttiyksikön välillä. Wilhelmsen (1968 a) sai vastaavanlaisen puutavaran kosteussuhteeksi kahden vuoden varastoinnin jälkeen 64 %. Yli yhden kesän varastoidun kuorellisen haapakuitupuun kosteussuhde oli Hakkilan (1962) mukaan 57 %.

Keskuslaboratorioon saaduissa puunäytteissä varastoinnin vaikutus tuli selvästi näkyviin puusta tehdyn jauheen vaaleudessa (kuva 6). Yhden kesän varastoinnin aikana vaaleus aleni Lapinjärven männyllä n. 20 %, kuusella n. 30 %, koivulla n. 35 %, mutta haavalla ja Laanilan männyllä vain alle 10 %. Vasta toisen kesäkauden jälkeen kahden viimeksi mainitun puulajin vaaleudet olivat pudonneet muiden kanssa samalle tasolle. Haavalla, joka oli puulajeista vaalein, vaaleuden alenema oli tällöin n. 35 % ja Laanilan männyllä n. 28 %. Pitempi varastointi ei enää vaikuttanut sanottavasti mitattuun vaaleuteen. Massan valkaisulla värierot on mahdollista poistaa, mutta varastoitujen puiden massat saattavat vaatia normaalia enemmän valkaisukemikaaleja tavoitevaaleuteen pääsemiseksi.

Yhden kesän varastoinnilla oli näkyvä alentava vaikutus vain runsaasti uutetta sisältäneiden haavan ja Laanilan männyn uutepitoisuuksiin. Sen sijaan kahden kesäkauden jälkeen uutepitoisuus oli alentunut sekä Lapinjärven että Laanilan männyillä n. 50 %, koivulla n. 20 % ja haavalla n. 35 %. Kolmannen varastointikesän jälkeen uutepitoisuus oli jälleen hieman noussut, mikä kohdistui enemmän etanoliuutteeseen eli uutteen hydrofiiliseen osaan kuin dikloorimetaaniuutteeseen eli uutteen lipofiiliseen osaan. Koska hydrofiiliset uuteaineet ovat lähinnä fenolisia yhdisteitä, uutepitoisuuden kasvu voi johtua esim. ligniinin osittaisesta hajoamisesta tai puun kuoren tai sydänpuun polyfenolien kulkeutumisesta pintapuuhun varastoinnin kestäessä. Kuusipuulla uutepitoisuus, nimenomaan sen etanoliuuteosuus, nousi koko varastoinnin ajan lievästi.

Varastointi ei vaikuttanut huonontavasti valkaistujen massojen optisiin ominaisuuksiin. Esim. opasiteetti päin vastoin parani varastoinnin ansiosta (kuva 9). Lehtipuu- ja kuusimassoilla se oli parhaimmillaan kahden varastointikesän jälkeen, mutta mäntymassoilla opasiteetti parani vielä tämänkin jälkeen.

32. Keittokokeet

Keittomenetelmäksi valittiin magnesiumbisulfiittikeitto, koska se sopii yleensä käytetyille puulajeille ja on kuitenkin sulfaattikeittoa herkempi raaka-aineen vaihteluille.

Lapinjärven männyllä massan kokonaissaanto keitossa alkoi laskea vasta kolmen varastointikesän jälkeen (taulukko 1). Koska tällöin myös ligniinin liukeneminen parantui hiukan, jäi massan saantotappio varastoimattoman puun massan saantoon verrattuna samassa kappaluvussa (kappa 22) noin 0,5 prosenttiyksiköksi. Puuaineen tiheyden alenemisen huomioiden puun kulutus sellutonnia kohti kuitenkin kasvoi kolmen kesän varastoinnin jälkeen noin 0,5 m^3:llä.

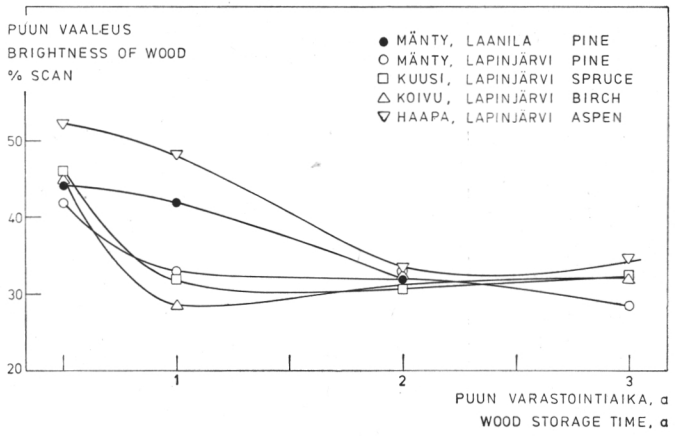
Pohjoissuomalaisella männyllä puun suuri uutepitoisuus vaikeutti varsinkin varastoimattoman puun keittymistä. Tällä puulla massan saanto jäi noin 5 prosenttiyksikköä matalammaksi kuin vastaavalla eteläsuomalaisella mäntynäytteellä samassa massan ligniinipitoisuudessa (kappaluvussa 22). Pääosin tähän vaikutti pohjoisen

Taulukko 1. Puuanalyysit ja keittotulokset. Havupuut.
Table 1. Wood analyses and cooking results. Softwoods.

Puulaji *Species*	Varastointiaika, a *Storage time, years*	Puuanalyysit *Wood analysis*				Keitto *Cooking*		Massa *Pulp*						Jäteliuos *Waste liquor*	
		Tiheys, kg/m³ *Density, kg/cu. m.*	Vaaleus, SCAN *Brightness, SCAN* %	Etanoliuute *Etanol extractives,* %	DKM-uute CH_2Cl_2 *extractives,* %	n:o *number*	Keittoaika, min. *time, min.*	Kappaluku *Kappa-number*	Kokonaissaanto *Total yield,* %	Tikut *Screenings,* %	Lajiteltu saanto *Screened yield,* %	Vaaleus, SCAN *Brightness, SCAN,* %	DKM-uute CH_2Cl_2 *extractives,* %	ph	Kokonais-SO_2 *Total SO_2,* %
Mänty — *Pine* ... Lapinjärvi	0	447	41,8	1,79	1,45	673 D	270	30,7	54,1	1,2	52,9	51,0	0,27	3,2	1,38
						687 D	330	22,2	52,7	0,5	52,2	63,7	0,28	3,1	1,30
	1	499	32,9	1,82	1,56	674 E	270	24,7	53,9	1,9	52,0	52,7	0,33	3,0	1,58
						688 E	330	20,8	53,1	0,2	52,9	53,8	0,34	3,1	1,21
	2	468	32,2	1,04	0,54	741 D	270	28,9	54,2	0,3	53,9	47,8	0,06	3,1	1,52
						737 E	330	24,6	53,0	0,3	52,7	51,6	0,24	3,2	1,23
	3	403	28,5	1,69	0,71	846 D	270	22,7	52,3	0,2	52,1	51,8	0,14	2,8	1,46
						845 E	330	18,4	51,8	0,8	51,0	51,1	0,11	3,0	1,09
Mänty — *Pine* ... Laanila	0	397	44,6	4,03	3,27	875 D	270	75,2	58,9	14,5	44,4	56,1	0,50	4,5	1,31
						882 E	330	19,7	47,4	0,60	46,8	63,7	0,82	3,0	0,91
						883 D	390	19,4	47,2	0,9	46,3	68,6	0,74	3,3	0,67
	1	406	41,8	3,77	2,55	876 E	270	42,0	52,6	1,1	51,5	57,4	0,88	3,6	1,34
						748 E	330	20,2	48,5	1,3	47,2	63,8	1,13	3,1	0,74
	2	363	32,2	2,36	1,19	941 E	270	50,6	54,6	2,3	52,3	51,3	0,26	3,0	1,58
						940 D	330	42,3	53,2	1,0	52,2	50,0	0,22	3,1	1,43
Kuusi — *Spruce* ..	0	422	46,0	0,97	0,76	675 D	270	33,4	56,0	0,4	55,6	63,3	0,27	3,6	1,42
						689 D	330	19,9	53,8	0,2	53,6	67,1	0,28	3,5	1,50
	1	406	32,1	1,26	0,66	676 E	270	25,2	59,3	0,2	51,1	58,3	0,26	3,0	1,41
						690 E	330	14,7	52,5	0,9	51,6	62,3	0,25	3,0	1,20
	2	395	30,8	1,46	0,57	742 E	270	30,9	54,3	0,7	53,6	54,8	1,07	3,2	1,58
						736 D	330	21,7	53,7	0,4	53,3	49,4	0,22	3,2	1,46
	3	432	32,8	1,74	0,66	844 E	270	41,0	55,4	0,7	54,7	48,4	0,16	3,1	1,55
						880 D	330	27,1	51,6	1,2	50,4	55,7	0,18	3,3	1,21
						881 E	390	19,0	50,4	0,4	50,0	59,6	0,21	3,3	1,09

Taulukko 2. Puuanalyysit ja keittotulokset. Lehtipuut.
Table 2. Wood analyses and cooking results. Hardwoods.

Puulaji *Species*	Varastointiaika, a *Storage time, years*	Puuanalyysit *Wood analysis*				Keitto *Cooking*		Massa *Pulp*						Jäteliuos *Waste liguor*	
		Tiheys, kg/m³ *Density, kg/cu. m.*	Vaaleus, SCAN *Brightness, SCAN* %	Etanoliuute *Etanol extractives,* %	DKM-uute CH_2Cl_2 *extractives,* %	n:o *number*	Keittoaika, min. *time, min.*	Kappaluku *Kappa-number*	Kokonaissaanto *Total yield,* %	Tikut *Screenings,* %	Lajiteltu saanto *Screened yield,* %	Vaaleus, SCAN *Brightness, SCAN,* %	DKM-uute CH_2Cl_2 *extractives,* %	ph	Kokonais-SO_2 *Total* SO_2, %
Koivu — *Birch* ..	0	469	44,9	2,32	1,12	701 D	180	32,3	54,4	7,8	46,6	54,3	0,42	3,0	1,41
						677 D	240	17,2	51,8	1,0	50,8	60,7	0,35	3,0	1,04
	1	477	28,1	1,90	1,19	702 E	180	28,7	52,8	6,1	46,7	55,4	0,82	2,8	1,38
						678 E	240	16,3	49,3	0,5	48,8	56,8	0,71	2,7	0,86
	2	458	31,4	1,81	0,90	743 E	180	27,8	54,3	3,3	51,0	48,3	0,81	2,8	1,44
						739 E	240	9,1	51,6	0,4	51,2	59,2	0,58	3,0	1,09
	3	400	32,6	2,40	1,06	812 E	180	31,7	52,0	6,8	45,2	45,8	0,62	3,0	1,88
						811 D	242	21,0	49,8	1,5	48,3	52,4	0,79	3,7	0,96
Haapa — *Aspen* ..	0	359	52,3	4,31	1,67	745 E	180	23,4	52,9	0,9	52,0	54,3	0,60	2,9	1,56
						740 D	240	18,1	50,0	0,8	49,2	57,5	0,74	2,8	1,04
	1	350	48,4	3,06	1,15	858 E	180	16,1	53,4	0,6	52,8	57,1	0,48	3,7	1,60
						744 D	240	9,8	49,7	0,6	49,1	59,4	0,75	2,9	0,99
						857 D	240	12,7	52,5	0,9	51,6	57,2	0,50	3,3	1,34
						746 D	240	10,0	51,6	0,5	51,1			3,0	0,98
	2	331	33,4	2,94	0,89	836 E	180	18,8	53,9	1,5	52,4	46,6	0,63	3,0	1,55
						835 D	240	15,3	52,5	1,3	51,2	49,3	0,59	3,7	0,88
	3	293	34,6	3,35	1,10	943 E	180	18,9	53,9	1,4	52,5	46,6	0,49	3,8	1,90
						942 D	240	13,1	52,5	0,5	52,0	46,9	0,44	2,7	1,49



Kuva 6. Puuaineen vaaleuden muutos varastoinnin aikana.
Fig. 6. Change in the brightness of wood material during storage.

puun suuri uutepitoisuus. Täten varastoinnin edistyessä ja uutepitoisuuden aletessa puusta laskettu sellun saanto samalla nousi huolimatta mahdollisista samanaikaisista hiilihydraattihäviöistä.

Kuusipuulla keittymisnopeus parani hiukan yhden kesän varastoinnin jälkeen, mutta hidastui myöhemmin. Massan saanto aleni varastoinnin kestäessä ollen kolmen kesäkauden jälkeen noin 3 prosenttiyksikköä alempi kuin varastoimattoman kuusen massan saanto samassa kappaluvussa (kappa 22) verrattuna. Saantohäviöön vaikuttivat ilmeisesti osittain pintapuun lisääntynyt hydrofiilisen, keitossa liukenevan uutteen määrä sekä hiilihydraattien kärsimät vauriot.

Lehtipuista koivun keittyminen parantui kahden kesän varastointiin asti, mutta hidastui sen jälkeen (taulukko 2). Kolmannen kesän jälkeen massan saanto (kappa 18) oli laskenut 2—2,5 % varastoimattomaan puuhun verrattuna. Koska tällöin myös puuaineen tiheys oli alentunut huomattavasti, puun kulutus sellutonnia kohti kasvoi noin 0,8 m³:lla varastoimattomaan koivuun verrattuna.

Myös haapapuun keittymisnopeus parani varastoinnin edistyessä. Puun korkean uutepitoisuuden aleneminen oli ilmeisesti osasyynä massan saannon kasvuun varastoitua puuta keitettäessä. Kolmanteen syksyyn mennessä tapahtunut tiheyden aleneminen aiheutti kuitenkin sen, että puun kulutus sellutonnia kohti kasvoi noin 0,7m³:llä varastoimattomaan haapaan verrattuna.

Puun tiheyden ja massan saannon muutosten vuoksi puun kulutus massatonnia kohti kasvaa. Todellisuudessa puunkulutusluvut kasvavat ilmeisesti huomattavasti suuremmiksi johtuen lahon puun käsittelyssä, kuljetuksessa, kuorinnassa ja haketuksessa tapahtuvista häviöistä jo ennen varsinaista massanvalmistusta (Saukkonen 1977, Lönnberg 1979).

Valkaisemattomien massojen vaaleuksissa säilyivät jo puunäytteissä havaitut erot. Lapinjärven männyn, kuusen ja koivun massojen vaaleudet laskivat kuten puullakin

eniten jo puun ensimmäisen varastointikesän jälkeen. Kolmen kesän jälkeen massojen vaaleudet olivat noin 10—20 % varastoimattomien puiden massojen vaaleuksia matalampia.

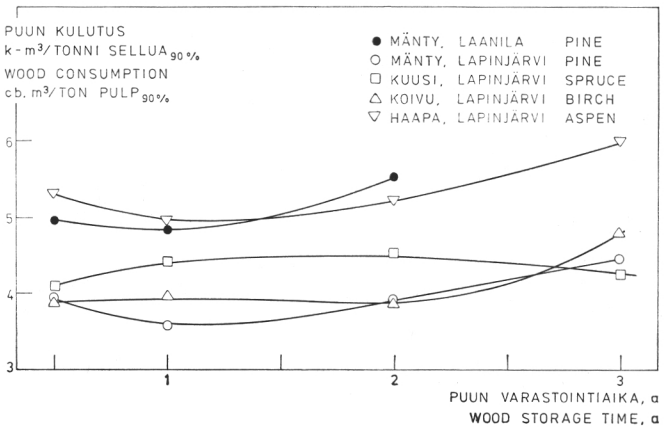
Valkaisemattoman massan uutepitoisuuteen varastoinnilla oli huomattava vaikutus vain Laanilan männyn tapauksessa, jolloin massan uutepitoisuus aleni vasta runsasuutteisen puun kahden kesän varastoinnin jälkeen 0,8 %:sta 0,2 %:in (taulukko 1). Lapinjärven männyllä ja kuusella varastoimattomasta puusta keitetyn massan uutepitoisuus oli noin 0,3 % ja aleni myös vasta kahden varastointikesän jälkeen 0,1—0,2 %:in.

Koivun varastointi vaikutti epäedullisesti massan DKM-uutepitoisuuteen nostaen sen 0,4 %:sta 0,6—0,8 %:n tasolle jo yhden kesän varastoinnin jälkeen. Täten vain noin puolet puun lipofiilisestä uutteesta liukeni varastoidun koivun sulfiittikeitossa.

Haavalla, joka sisälsi tuoreena enemmän uutetta kuin koivu, oli myös massan uutepitoisuus korkeampi kuin koivulla (taulukko 2). Varastointi alensi haapapuun ja samalla myös massan uutepitoisuutta, mutta vielä kolmen varastointikesän jälkeen massan uutepitoisuus oli 0,4—0,5 %.

33. Valkaisukokeet

Massojen valkaisussa CEHD-yhdistelmällä ei havaittu puun varastoinnista aiheutuvia merkittäviä eroja massan saannossa, joten puusta lasketuissa valkaistun massan saannoissa ja puunkulutuksissa sellutonnia kohti säilyivät jokseenkin valkaisemattoman massan yhteydessä havaitut erot (taulukko 3). Kolmen kesäkauden varastoinnin



Kuva 7. Puun kulutus valkaistua sellutonnia kohti.
Fig. 7. Consumption of wood per ton of bleached pulp.

Taulukko 3. Valkaisutulokset. Havupuut.
Table 3. Bleaching results. Softwoods.

Puulaji *Species*	Varastointiaika, a *Storage time, years*	Keitto, n:o *Cooking, number*	Kappaluku *Kappa-number*	Valkaisun saanto *Yield of bleaching*, %	Saanto puusta *Yield on wood*, %	Vaaleus, SCAN *Brightness, SCAN*, %	Viskositeetti *Viscosity*, dm^3/kg	DKM-uute CH_2Cl_2 *extractives*, %	pc-luku *pc-number*
Mänty — *Pine* ...	0	673 D	30,7	93,0	50,3	87,1	1 060		2,431
Lapinjärvi		687 D	22,2	97,8	51,5	89,0	990	0,04	1,24
	1	674 E	24,7	93,3	50,3	80,5	1 030		2,079
		688 E	20,8	96,1	51,0	82,2	1 010	0,06	1,59
	2	741 D	28,9	93,5	50,7	88,2	820	0,04	1,709
		737 E	24,6	93,8	49,7	89,3	900	0,09	0,920
	3	846 D	22,7	97,0	50,7	76,3	950		2,51
		845 E	18,4	96,9	50,2	83,8	900		2,08
Mänty — *Pine* ...	0	882 E	19,7	95,6	45,3	89,5	860	0,06	1,26
Laanila	1	876 E	42,0	90,3	47,5	88,8	970	0,06	1,63
		748 E	20,2	95,3	46,2	86,5	850	0,20	1,97
	2	941 E	50,6	89,7	49,0	88,6	930	0,08	1,90
		940 D	42,3	91,0	48,4	86,8	910	0,07	1,55
Kuusi — *Spruce* ..	0	675 D	33,4	93,0	52,1	86,6	1 050		2,291
		689 D	19,9	96,9	52,1	88,7	870	0,16	2,18
	1	676 E	25,2	95,3	49,8	86,4	940		1,895
		690 E	14,7	96,4	50,6	88,6	860	0,16	1,52
	2	742 E	30,9	93,3	50,7	85,2	1 020	0,13	1,011
		736 D	21,7	93,6	50,3	85,7	980	0,11	1,559
	3	880 D	27,1	95,7	49,4	87,2	950	0,16	2,05
		881 E	19,0	97,0	48,9	88,5	900	0,13	1,49

johdosta puun kulutus valmistettaessa valkaistua massaa (kappaluku ennen valkaisua havupuilla 22 ja lehtipuilla 18) kasvoi männyllä 10—15 %, kuusella noin 5 % sekä koivulla ja haavalla 20—25 % (kuva 7).

Huolimatta valkaisemattomien massojen selvistä vaaleuseroista voitiin lähes sama vaaleustaso, 88—90 % SCAN, saavuttaa valkaisussa normaalilla kemikaaliannostuksella lukuun ottamatta yhden ja kolme kesää varastoidun männyn, kaksi kesää varastoidun kuusen ja kolme kesää varastoidun koivun massojen valkaisuja.

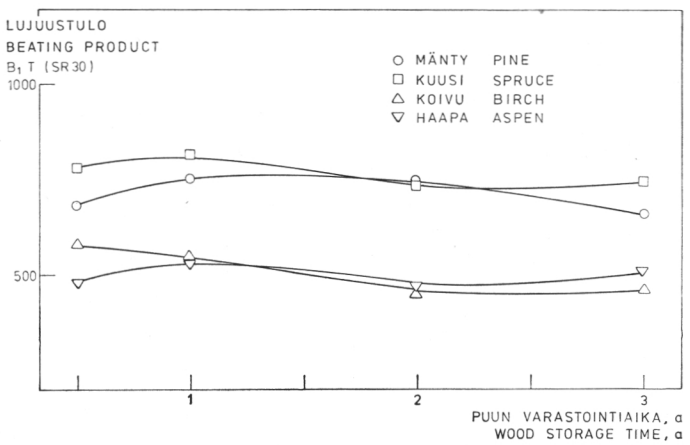
Uutepitoisuus oli valkaisun jälkeen mäntymassoilla yleensä alle 0,1 % ja kuusimassoilla 0,1—0,15 % eikä puun varastoinnilla ollut siihen havaittavaa vaikutusta. Sen sijaan lehtipuumassojen uutepitoisuus oli valkaisunkin jälkeen korkea varsinkin varastoitujen puiden massoilla, koivulla 0,3—0,8 % ja haavalla 0,3—0,5 % (taulukko 4). Varastoimattomien lehtipuiden massojen uutepitoisuudet olivat vastaavasti noin puolet näistä arvoista.

Taulukko 4. Valkaisutulokset. Lehtipuut.
Table 4. Bleaching results. Hardwoods.

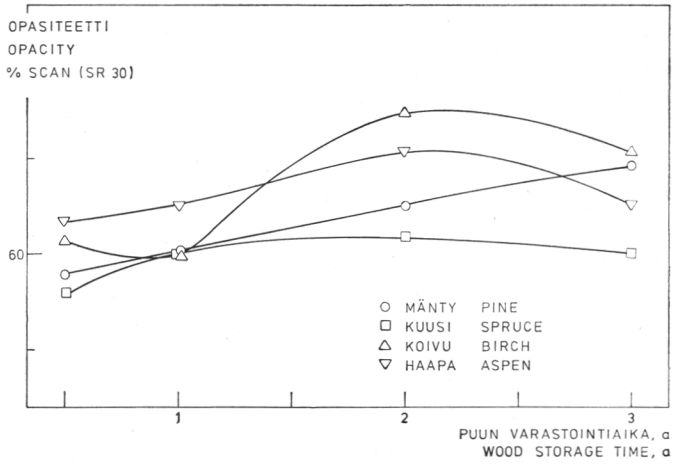
Puulaji *Species*	Varastointiaika, a *Storage time, years*	Keitto, n:o *Cooking, number*	Kappaluku *Kappa-number*	Valkaisun saanto *Yield of bleaching,* %	Saanto puusta *Yield on wood,* %	Vaaleus, SCAN *Brightness, SCAN,* %	Viskositeetti *Viscosity,* dm³/kg	DKM-uute CH_2Cl_2 *extractives,* %	pc-luku *pc-number*
Koivu — *Birch* ..	0	701 D	32,3	92,8	50,5	86,7	1 060	0,18	2,18
		677 D	17,2	94,9	49,2	91,3	970		1,984
	1	702 E	28,7	91,4	48,3	89,1	1 070	0,43	1,93
		678 E	16,3	96,2	47,4	90,8	1 070		1,265
	2	743 E	27,8	96,9	52,6	87,7	1 080	0,78	2,11
		739 E	9,1	97,0	50,1	90,4	860	0,28	0,80
	3	812 E	31,7	94,8	49,3	83,7	1 200	0,60	2,05
		811 D	21,0	94,7	47,2	83,6	1 090	0,73	1,59
Haapa — *Aspen* ..	0	745 E	23,4	96,3	50,9	93,1	870	0,26	0,76
		740 D	18,1	95,5	47,8	88,4	1 040	0,07	1,67
	1	858 E	16,1	95,6	51,5	91,7	980	0,40	1,03
		857 D	12,7	96,9	50,9	92,3	950	0,42	0,93
	2	836 E	18,8	97,0	52,3	84,4	950	0,52	1,69
		835 D	15,3	95,0	49,9	89,7	920	0,46	1,08
	3	943 E	18,9	95,0	51,2	89,8	1 030	0,33	1,10
		942 D	13,1	96,2	50,5	90,0	1 040	0,35	0,92

34. Massojen paperitekniset ominaisuudet

Valkaistujen massojen fysikaalisiin ominaisuuksiin varastoinnilla ei näyttänyt olevan kovinkaan merkittävää vaikutusta, tai vaikutus jäi koetulosten satunnaista vaihtelua pienemmäksi. Selvimmin oli ehkä havaittavissa repäisylujuuden lievä



Kuva 8. Valkaistujen massojen lujuustulot (vetolujuus x repäisylujuus).
Fig. 8. The beating products (tensile strength x tearing strength) of bleached pulps.



Kuva 9. Valkaistujen massojen opasiteetit.
Fig. 9. Opacity of bleached pulps.

parantuminen yli yhden kesäkauden varastoitujen männyn, kuusen ja haavan massoilla. Muut lujuusominaisuudet pysyivät ennallaan tai huononivat jonkin verran varastoinnin edistyessä.

Kuvattaessa valkaistun massan lujuutta esim. lujuustulolla B_1T (= vetolujuus x repäisylujuus) saatiin ensin nouseva ja sen jälkeen hiukan aleneva tai aaltoileva käyrä varastointiajan kasvaessa (kuva 8). Kuvan lujuustulot on saatu massoilla, jotka on interpoloitu vastaamaan valkaisemattoman massan kappalukua 22 havupuilla ja 18 lehtipuilla. Koivulla lujuustulo aleni varastoinnin edistyessä. Varastoimattoman puun massaan verrattuina kolme kesää varastoitujen männyn ja kuusen massat olivat lujuustuloltaan noin 5 % huonompia, koivun massa noin 20 % huonompi, mutta haavan massa noin 5 % parempi.

Varastointi ei vaikuttanut huonontavasti valkaistujen massojen optisiin ominaisuuksiin. Esim. opasiteetti päinvastoin parani varastoinnin ansiosta (kuva 9). Lehtipuu- ja kuusimassoilla se oli parhaimmillaan kahden varastointikesän jälkeen, mutta mäntymassoilla se parani vielä tämänkin jälkeen.

4. TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa tarkastellaan varastointiajan vaikutusta männystä, kuusesta, koivusta ja haavasta valmistetun kuitupuun puuaineeseen sekä niistä magnesiumbisulfiittimenetelmällä keitetyn massan saantoon ja laatuun. Aineiston muodosti Lapinjärvelle Etelä-Suomessa ja Laanilaan Pohjois-Suomessa kolmen vuoden ajaksi varastoitu puutavara. Tutkimuksessa tarvittavat näytteet otettiin samoista pinoista kunkin varastointikesän jälkeen sekä vertailuksi ennen varastointia. Näytteet otettiin mänty- ja kuusipölkyissä vain pintapuusta sydänpuun rajalle asti.

Tutkimuksen tärkeimmät tulokset olivat seuraavat:

1. Pääosa Etelä-Suomessa yli yhden kesän varastoitujen mänty- ja kuusipuiden pintapuusta sekä koivupölkkyjen keskiosistakin oli ensimmäisen varastointikesän jälkeen sinistynyt tai värivikainen mikä alensi puujauheesta mitattua SCAN-vaaleutta 20—35 prosenttiyksikköä. Kolmannen varastoimisvuoden syksynä olivat mänty- ja kuusipölkyt lahonneet ja sinistyneet täysin sydänpuuhun asti ja koivu sekä haapapölkyt myös keskiosistaan. Laanilassa koepuut säilyivät paremmin.

2. Puuaineen kuiva-tuoretiheys ei muuttunut ensimmäisen varastointikesän kuluessa juuri lainkaan, mutta yli kolmen kasvukauden kestänyt varastointi aiheutti kuiva-tuoretiheydessä aleneman joka oli kiinteistä kappaleista mitattuna 15—25 kg/m³ eli 4—5 prosenttiyksikköä mutta 10—18 % hakkeesta mitattuna kuusta lukuunottamatta.

3. Massan saantoon varastointi vaikutti selvästi vasta kolmannen varastointikesän jälkeen, jolloin saanto aleni Etelä-Suomessa männyllä, kuusella ja koivulla noin 0,5, 3,0 ja 2,5 prosenttiyksikköä. Haavalla ja pohjoissuomalaisella männyllä massan saanto puusta laskettuna oli tuoreen puun keiton saantoa parempi. Tämä johtui niiden korkeasta uutepitoisuudesta, joka aleni varastoinnin aikana.

4. Valkaisun saantoon ei varastoinnilla ollut vaikutusta. Puun kulutus valkaistua massatonnia kohti kasvoi kolmen varastointikesän jälkeen männyllä 10—15 %, kuusella noin 5 % sekä koivulla ja haavalla 20—25 %.
Varastointi ei vaikuttanut valkaistujen havupuumassojen uutepitoisuuksiin, kun taas lehtipuilla massojen uutepitoisuudet olivat kolmen varastointivuoden jälkeen noin kaksinkertaiset.

5. Valkaistun massan paperitekniset ominaisuudet muuttuivat suhteellisen vähän varastoinnin vuoksi. Kolme kesäkautta varastoiduista mänty- ja kuusipölkyistä valmistettujen massojen lujuustulot olivat 5 % ja koivumassojen 20 % huonompia, mutta haapamassan taas noin 5 % parempi kuin varastoimattomasta puusta saatujen massojen lujuustulot. Valkaistujen massojen optisiin ominaisuuksiin varastoinnilla ei ollut huonontavaa vaikutusta.

KIRJALLISUUS

ALHOJÄRVI, J., ALM, A., JÄRVELÄ, O.& VIRKOLA, N.-E. 1964. The influence of wood storage conditions upon the quantity and quality of pine sulphate pulp. Paper and Timber 46: 209—220.

BJÖRKMAN, E., FORSSBLAD, L.-M, MALM, E., REGESTAD, S. O., RINGSTRÖM, E. & RYDHOLM, S. 1964. The use of decayed wood from some conifers and broadleaf trees for chemical pulping purposes. Stud. For. Suec. 21: 1—66.

HAKKILA, P. 1962. Kesäaikana valmistetun haapapaperipuun kuivumisesta ja lahoamisesta. Summary: On the seasoning and decay of aspen pulpwood prepared in summertime. Commun. Inst. For. Fenn. 54 (6): 1—34.

— 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. Lyhennelmä: Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 66 (8): 1—60.

— 1969. Weight and composition of the branches of large Scots pine and Norway spruce trees. Seloste: Järeitten mänty- ja kuusipuitten oksien paino ja koostumus. Commun. Inst. For. Fenn. 67 (6): 1—47.

HEISKANEN, V. 1959. Halkaistun, aisatun ja kuorellisen koivupinotavaran kuivuminen ja säilyminen metsävarastossa. Summary: Drying and storage decays of forest-stored split, strip-barked and unbarked birch cordwood. Commun. Inst. For. Fenn. 50 (7): 1—63.

HENNINGSSON, B. 1962. Studies in fungal decomposition of pine, spruce and birch pulpwood. Medd. Statens Skogforskn. Inst. 52 (3): 1—32.

— 1964. Utbyte och kvalitet hos sulfatmassa framställd av rötskadad tall-, gran- och björkved. Rapp. Instn. Virkeslära, Skogshögsk. 48: 1—12.

— 1967. Microbial decomposition of unpeeled birch and aspen pulpwood during storage. Studia For. Suec. 54: 1—32.

— & TAMMINEN, Z. 1961. Studier över torkning, lagringsskador m.m. hos hand- och maskinbarkad tallmassaved. Rapp. Instn. Virkeslära, Skogshögsk. 34: 1—47.

KAWASE, K. & IGARASHI, T. 1970. Chipping and pulping of decayed wood. Res. Bull. Coll. Exp. For. Hokkaido Univ. 27 (1): 161—295.

KESÄNIEMI, E. 1976. Koivulahon vaikutus valkaistun sulfaattimassan valkenevuuteen ja laatuun. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostusosasto. Diplomityö n:o 1/76: 1—126.

KÄRKKÄINEN, M. 1976. Kokopuuhakkeen tiheyden mittaaminen. Summary: Measurement of basic density of total tree chips. Silva Fennica 10 (3): 198—211.

LEHTONEN, I., PEKKALA, O. & UUSVAARA, O. 1978. Tervalepän (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) ja raidan (*Salix caprea* L.) puu- ja massateknisiä ominaisuuksia. Folia For. 344: 1—19.

LORÅS, V. & WILHELMSEN, G. 1974. The influence of wood storage on bleachability and brightness stability of mechanical pulps (Part 2). Norsk Skogindustri 28 (6): 158—164.

LÖNNBERG, B. & ALA-PORKKUNEN, A. 1979. Varastoinnin vaikutus kuitupuun jalostusarvoon. Metsä ja Puu 8: 20—22.

LÖYTTYNIEMI, K., PEKKALA, O. & UUSVAARA, O. 1978. Deterioration of pine and spruce pulpwood stored during the growing season and its effect on sulphite pulping. Seloste: Mänty-

ja kuusikuitupuun pilaantuminen kesävarastoinnin aikana ja sen vaikutus massan saantoon ja laatuun. Commun. Inst. For. Fenn. 92 (6): 1—16.

— & UUSVAARA, O. 1972. Hyönteisten aiheuttaman mäntykuitupuun sinistymisen vaikutuksesta massan laatuun. Summary: Effect on the quality of pulp of blueing of pine pulpwood caused by fungi associated with insects. Paperi ja Puu 54: 472—474.

— & UUSVAARA, O. 1977. Insect attack on pine and spruce sawlogs felled during the growing season. Seloste: Hyönteisten merkitys kasvukauden aikana valmistettujen mänty- ja kuusisahatukkien pilaantumisessa. Commun. Inst. For. Fenn. 89 (6): 1—48.

Protection of wood in storage. 1977. XVI IUFRO World-Congress, Oslo 1976. Rapp. Instn. Virkeslära, Skogshögsk. R 100: 1—46.

SAUKKONEN, M. 1977. Puun jalostusarvon säilyminen metsävarastoinnissa. Teollisuuden Metsäviesti 5—6:15.

TAMMINEN, Z. 1979. Rötskador hos 3-meters obarkad, lagrad massaved av tall, gran, björk och klibbal. Rapp. Instn. Virkeslära, Sveriges Lantbruksuniv. 112: 1—80 (Käsikirjoitus).

UUSVAARA, O. & LÖYTTYNIEMI, K. 1975. Tikaskuoriaisen (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col., Scolytidae) aiheuttaman vioituksen vaikutus sahatavaran laatuun ja arvoon. Summary: Effect of injury caused by the ambrosia beetle (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col. Scolytidae) on sawn timber quality and value. Folia For. 231: 1—14.

— & LÖYTTYNIEMI, K. 1977. The effect of injuries caused by summer storage of sawlogs on the quality and value of sawn timber. Seloste: Sahapuun kesävarastoinnista aiheutuvien varastovikojen vaikutus sahatavaran laatuun ja arvoon. Commun. Inst. For. Fenn. 89 (3): 1—61.

WALLIN, B. 1975. Lagringsskador på massaved. Skogsfakta från Skogshögsk. 1: 1—4.

WILHELMSEN. G. 1968 a. Fuktighetsendringer og substanstap i bjørk (*Betula pubescens*) ved lagring i skog og på åpen flate. Meddr. norske Skogfors. Ves. 25: 159—205.

— 1968 b. Water storage of unbarked mechanical pulpwood of Norway spruce. Norsk Skogind. 22: 207—211.

— 1974. Puutavaran käsittely. Pohjoismainen puuteknologian yhteistyöprojekti. Folia For. 216: 1—64.

SUMMARY

The effect of storage time on the pulpwood made of pine, spruce, birch and aspen and the yield and quality of their pulps cooked by the magnesium bisulphite method was studied. The material consisted of timber stored for three years at Lapinjärvi in Southern Finland and Laanila in Northern Finland. The test samples were taken from the same stacks after each summer and for purposes of comparison prior to storage. The wood material of pine and spruce consisted only of the sapwood part of the sample bolts.

The main results of the study were as follows:

1. Most of the sapwood of pines and spruces stored in Southern Finland over one summer and even the middle part of birch bolts was blue-stained or discoloured after the first summer; this lowered the SCAN brightness measured from the wood flour by 20—35 per cent units. In the autumn of the third year of storage pine and spruce bolts had become decayed and blue-stained right through to the heartwood and birch and aspen bolts also in the middle. The sample bolts kept better at Laanila.

2. The basic density of wood hardly changed at all during the first summer of storage, but storage over three growing seasons caused a reduction in the basic density of 15—25 kg/m^3 as measured from solid test pieces, i.e. 4—5 per cent units, and 10—18 % as measured from chips.

3. Storage did not affect the pulp yield distinctly until after the third summer when it declined in Southern Finland by about 0,5, 3,0 and 2,5 per cent units, respectively, for pine, spruce and birch. Pulp yield calculated from wood was better than the yield from green wood for aspen and North-Finnish pine. This was due to their high extractives content which diminished during storage.

4. Storage did not influence the bleaching yield. Consumption of wood per ton of bleached pulp increased after three summers of storage by 10—15 % for pine, about 5 % for spruce and 20—25 % for birch and aspen.

Storage did not affect the extractives content of bleached softwood pulps, whereas for hardwood pulps it was roughly doubled after three years of storage.

5. The paper-technical properties of bleached pulp changed relatively little on account of storage. The beating products of pulps made of pine and spruce bolts stored for three summer seasons were approx. 5 % and those of birch pulps 20 % poorer, but the beating products of aspen pulp were about 5 % better than the comparable figures for pulps made of unstored wood.

MÄNTYTUKKIRUNKOJEN LAATULUOKITUS

MATTI KÄRKKÄINEN

Summary

GRADING OF PINE SAWLOG STEMS

HELSINKI 1980

ODC 852: 174.7 *Pinus sylvestris*
ISBN 951-40-0440-X
ISSN 0026-1610

KÄRKKÄINEN, M. 1980. Mäntysahatukkien laatuluokitus. Summary: Grading of pine sawlog stems. Commun. Inst. For. Fenn. 96 (5): 1—152.

Tutkimuksessa mitattiin 52:lta leimikolta 3404 sahapuurungon ominaisuudet niistä tehtyjen 7170 tukin laadun arvioimiseksi. Parhaaksi sahatukkien laadun osoittajaksi saatiin etäisyys alimpaan kuivaan oksaan tai kuivan latvuksen alarajaan. Lisäksi vaikuttaa myös puun koko, joskin vähäisemmässä määrin.

Koesahausaineistossa oli 609 tukkia, jotka olivat peräisin 221:stä rungosta. Myös koesahauksessa havaittiin rungon oksaisuustekijöiden vaikutus sahatavaran laadun kannalta. Hyvin olennainen merkitys oli myös tukin järeydellä, etenkin paraslaatuisten tukkien ollessa kyseessä.

Tutkimustulosten käytännöllisenä sovellutuksena ehdotetaan sahapuuleimauksen yhteydessä mitattavaksi objektiivisin otantamenetelmin keskimääräinen runkojen rinnankorkeusläpimitta ja etäisyys alimpaan kuivaan oksaan, joiden funktiona on määräolettamuksin taulukoitu sahatukin suhteellinen arvo tilavuusyksikköä kohti.

In the study a total of 3404 sawlog stems from 52 logging areas were measured in order to evaluate the quality of the 7170 logs made from the stems. The best quality indicator was the distance from the ground to the lowest dead branch or the lower border of the crown containing dead branches. In addition, the size of the tree has an effect, although this is not so great.

609 logs made of 221 stems were sawn by a circular saw. Even in this case, the knottiness characteristics of the stem were good indicators of the quality of the sawn goods. The size of the logs had a considerable effect, especially in the case of logs of good quality.

As a practical application a new system is proposed for the grading of pine sawlog stems. It includes the measurement of the average breast height diameter of the stems and the distance from the ground to the lowest dead branch. Using these characteristics, an estimation of the saw log quality can be made.

Helsinki 1980. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Tutkimus käynnistyi keväällä 1979 Enso-Gutzeit Osakeyhtiön ja Rauma-Repola Oy:n aloitteesta. Tukiryhmässä olivat edellisestä Ilkka Kallio, Tarmo Kettunen, Anssi Partanen, Yrjö Schildt ja Eero Vitikainen sekä jälkimmäisestä Seppo Autere, Jaakko Kahiluoto, Reino Kangasjärvi ja Heimo Mankinen.

Kenttätyöt tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen laatimien ja yhteisesti hyväksyttyjen suunnitelmien mukaan kesällä 1979 mainittujen yhtiöiden toimesta ja kustannuksella. Lisäksi Enso-Gutzeit Osakeyhtiö huolehti koesahauksesta Partasen johdolla.

Metsäntutkimuslaitos huolehti puolestaan tulosten laskennasta ja julkaisun laadinnasta. Vaativasta atk-käsittelystä huolehti Tarja Björklund, kuvien piirtämisestä Leena Muronranta, konekirjoituksesta Aune Rytkönen, Raija Siekkinen ja Leena Turunen sekä tutkimuksen englanninkielen tarkistuksesta John Derome. Viimeistelytyössä avustivat Pirkko Kinanen ja Raili Voipio. Käsikirjoituksen lukivat Metsäntutkimuslaitosta varten Pentti Hakkila ja Pentti Nisula.

Käsikirjoitusluonnoksen perusteella tekivät parannusehdotuksia Pekka Kilkki, Pentti Nisula, Juhani Salmi, Aili Tuimala, Olli Uusvaara ja Eero Vitikainen.

Kiitän kaikkia tutkimukseen osallistuneita.

Helsingissä maaliskuulla 1980

Matti Kärkkäinen

SISÄLLYS

SYMBOLIT — *SYMBOLS* 5

1. JOHDANTO 7

2. AINEISTO 10

3. TUKKIRUNKOJA JA TUKKEJA KOSKEVAT TULOKSET 15
   31. Tulosten edustavuus ja tarkastelutapa 15
   32. Tukkien ominaisuudet ja taustamuuttajat 16
   33. Yksittäisten runkojen korrelaatioanalyysi 40
   34. Yksittäisten runkojen regressioanalyysi 49
   35. Leimikoittainen tarkastelu 83
      351. Ennusteen osuvuus ja otoksen koko 83
      352. Iän ja metsätyypin vaikutus 87

4. KOESAHAUKSET 93
   41. Aineisto ja asetteet 93
   42. Saanto 95
   43. Sahatavaran yksikköhinnat 100
   44. Sahatavaran laatujakauma 111
   45. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti 116
   46. Rungoittainen tarkastelu 122

5. KÄYTÄNNÖN SOVELLUS 141

6. TULOSTEN TARKASTELUA 144

KIRJALLISUUTTA 146

SUMMARY 150

SYMBOLIT — *SYMBOLS*

b = regressiokerroin — *regression coefficient*

c = lenkous — *sweep*

d = rinnankorkeusläpimitta — *breast height diameter*

$d_{1,3}$ = kuten edellä — *as above*

d_t = tukin kuoreton latvaläpimitta — *top diameter under bark*

d_6 = läpimitta 6 m korkeudella rungossa — *diameter at 6 m height*

DF = vapausasteita — *degrees of freedom*

F = F-arvo — *F-value*

h = rungon pituus — *height of stem*

k = kapeneminen $d_{1,3}$—d_6 — *taper* $d_{1,3}$—d_6

n = havaintojen lukumäärä — *number of observations*

r = korrelaatiokerroin — *correlation coefficient*

R^2 = selitysaste — *coefficient of determination*

s = standardipoikkeama — *standard deviation*

$s_{y.x}$ = regressioyhtälön jäännöshajonta — *standard error of estimate*

t = t-arvo — *t-value*

$\bar{x}$ = keskiarvo — *mean*

x_1 = etäisyys alimpaan kuivaan oksaan — *distance from the ground to the lowest dead branch*

x_2 = etäisyys kuivan latvuksen alarajaan — *distance from the ground to the lower border of the dead crown*

x_3 = latvussuhde alimman kuivan oksan mukaan — *crown ratio determined from the lowest dead branch*

x_4 = latvussuhde kuivan latvuksen alarajan mukaan — *crown ratio determined from the lower border of the dead crown*

x_5 = ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien osuus taulukossa 27 — *percentage of logs in first knottiness class in Table 27*

x_6 = kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukkien osuus taulukossa 28 — *percentage of logs in third knottiness class in Table 28*

x_7 = soirojen yksikköhinta, kun u/s-lauta = 100 ja laadut I . . . IV on hinnoiteltu erikseen — *volume price of battens as u/s-board = 100 and grades I . . . IV are priced separately*

z_2 = rungon tukkiosan tilavuus — *volume of the timber part of stem*

y_1 = korjattu ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan osuus — *corrected percentage of the first knottiness class*

y_2 = korjattu kolmannen oksaisuuslaatuluokan osuus — *corrected percentage of the third knottiness class*

y_3 = sahatavarasaanto tukin Newtonin kaavalla lasketusta kuorellisesta tilavuudesta — *yield of sawn goods in per cent of the log volume incl. bark calculated by Newton rule*

y_4 = sahatavarasaanto tukin kuorellisesta taulukkotilavuudesta — *yield of sawn goods in per cent of log volume incl. bark derived from a table*

y_5 = sahatavaran yksikköhinta, kun u/s-lauta = 100 ja laadut I . . . IV on hinnoiteltu erikseen — *volume price of sawn goods as u/s-board = 100 and grades I . . . IV are priced separately*

y_6 — sahatavaran yksikköhinta, kun u/s-lauta = 100 ja laadut I . . . IV on hinnoiteltu yhdessä — *volume price of sawn goods as u/s-board = 100 and grades I . . . IV are priced using the same value*

y_7 = lautojen yksikköhinta, kun u/s-lauta = 100 ja laadut I . . . IV on hinnoiteltu erikseen — *volume price of boards as u/s-board = 100 and grades I . . . IV are priced separately*

y_8 = sahatavaran arvo tukin kuorellista tilavuutta kohti, kun u/s-lauta on sahatavaran tilavuutta kohti 10 000, tukin tilavuus on laskettu Newtonin kaavalla ja sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu erikseen — *price of sawn goods per log volume as price of u/s-board per sawn goods volume is 10 000. Grades I . . . IV of sawn goods are priced separately and log volume is based on Newton rule*

y_9 = kuten edellä, mutta tukin tilavuus taulukosta — *as above, but volume from a table*

y_{10} = kuten edellä, mutta tukin tilavuus on Newtonin kaavalla ja sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu samalla arvolla — *as above, but volume is based on Newton rule and grades I . . . IV of sawn goods are priced using the same value*

y_{11} = kuten edellä, mutta tukin tilavuus on taulukosta — *as above, but log volume from a table*

y_{12} = soirojen yksikköhinta rungossa, kun u/s-lauta on 100 ja laadut I . . . IV on hinnoiteltu erikseen — *volume price of battens in the stem as u/s-board = 100 and grades I . . . IV of sawn goods are priced separately*

y_{13} = lautojen yksikköhinta rungossa, muuten kuten edellä — *volume price of boards in the stem, otherwise as above*

y_{14} = sahatavaran yksikköhinta rungossa, muuten kuten edellä — *volume price of sawn goods in the stem, otherwise as above*

y_{15} = kuten y_{12}, mutta laadut I . . . IV on hinnoiteltu yhdessä — *as y_{12}, but grades I . . . IV are priced using the same value*

y_{16} = kuten y_{13}, mutta laadut I . . . IV on hinnoiteltu yhdessä — *as y_{13}, but grades I . . . IV are priced using the same value*

y_{17} = kuten y_{14}, mutta laadut I . . . IV on hinnoiteltu yhdessä — *as y_{14}, but grades I . . . IV are priced using the same value*

1. JOHDANTO

Lyhyellä tähtäyksellä sahatukkien tai sahatukkirunkojen laatuluokituksella pyritään siihen, että myyjän saama rahatulo korreloisi positiivisesti ostajan tuotteestaan saaman rahatulon kanssa. Mekaanisen puunjalostusteollisuuden ollessa kyseessä tällainen positiivinen yhteys on koettu oikeudenmukaiseksi jo siksi, että tuotteen arvo riippuu paljolti raaka-aineen laadusta. Laatuluokituksen tehtäväksi voi katsoa myös niiden minimivaatimusten asettamisen, joilla erotetaan pääasiassa kuidutettava ja pääasiassa mekaanisesti jalostettava raaka-aine.

Toisaalta voidaan eräissä laatuluokitusjärjestelmissä ja erityisesti niiden minimivaatimuksissa havaita myös muita näkökohtia. Valtiovalta on pyrkinyt huolehtimaan mm. siitä, etteivät raaka-aineen ostajat poimisi runsauden vallitessa ainoastaan parhaita puita, koska tätä on pidetty kansantaloudellisesti vähemmän järkevänä toimena. Erityisesti valtion harjoittaman oman metsätalouden eduista huolehdittaessa tämä näkökohta on ollut selvästi esillä. Niinpä valtioneuvoston päätöksessä puiden myynnistä valtion metsistä (1922) todettiin lyhyesti, että »on puu käyryydestä ja oksaisuudesta huolimatta otettava ainakin 18 cm:n latvaläpimittaan asti sellaisina pölkkyinä kuin ostaja haluaa». Samoin viime sotien aikana annetussa valtioneuvoston päätöksessä järeän havupuun ohjehinnoista (1944) todettiin, että »toisen laatuluokan mäntytukissa saa olla tavallinen määrä eläviä tai kuolleita oksia. Edellisten läpimitta saa olla enintään kaksi tuumaa ja jälkimmäisten puolitoista tuumaa. Enimmäissuuruuden rajoilla olevat oksat eivät saa esiintyä selvinä kiehkuroina. Pieniä terveitä koroja saa olla. Tasaista lenkoutta saa olla tukin pituudelta noin kaksi kolmasosaa sen latvaläpimitasta. Mutkia ei saa olla muualla kuin katkaisukohdissa. Lahoa, laho-oksia tai sinistymistä ei tukeissa saa olla». Edelleen minimivaatimuksista todettiin, että »mäntytukin tulee olla suoruudeltaan ja muodoltaan sahauskelpoinen. Vain sellaista lahoa saa olla, joka on kovaa ja rajoittuu pienelle, määrätylle alalle.»

Pelkkien minimivaatimusten asettamista ei ole kuitenkaan koettu riittäväksi toimeksi, etenkin kun eri intressiryhmien käsitykset sopivasta minimirajasta ovat voineet poiketa toisistaan huomattavasti. Tällä vuosisadalla onkin esitetty lukuisia laatuluokitusjärjestelmiä, joiden käyttö on jäänyt kuitenkin vähäiseksi mahdollisesti valtion metsätaloutta lukuunottamatta. Riittävää kannatusta raaka-aineesta ja lopputuotteesta saatavan hinnan positiiviselle yhteydelle ei ole syntynyt: teollisuuden harjoittajat ovat halunneet saada raaka-aineensa keskihinnalla monesta käytännölli-

sestä syystä, ja myyjien ryhmä on jakautunut kahteen leiriin riippuen siitä, omistavatko he hyvää vai huonoa raaka-ainetta (Vuoristo 1937 b).

Suurempaan yksimielisyyteen on päästy, kun lyhytaikaisten tavoitteiden lisäksi on otettu huomioon laatuluokituksen vaikutus metsätalouden harjoittamiseen. Lukuisissa tällä vuosisadalla julkaistuissa kirjoituksissa on todettu, kuinka laatupuun kasvattaminen välttämättä vaatii tuekseen myytävän tuotteen laatuluokitusta, jotta metsänhoidossa olisi riittävä kiinnostus aikaa ja vaivaa kysyviin toimiin (esim. Jussila 1935, Vuoristo 1936 b, Heiskanen 1951 b, 1959).

Jonkinlaista sahatukkien laatuluokitusta puoltaa myös se, että ennen sahausta toimitettavalla luokittelulla ja sen mukaisella raaka-aineen jaottelulla erilaisia asetteita varten voidaan vaikuttaa raaka-aineen arvoon. Tästä saatiin Suomessa kokemuksia jo 1930-luvulla (esim. Vuoristo 1932, 1937 a), ja myöhemmät tutkimukset ovat vahvistaneet tämän käsityksen oikeutusta (esim. Orvér 1970 b). Lautasahauksessa (läpisahauksessa) tämä ilmiö on kokeneille sahamiehille itsestään selvä, mutta myös tavanomaisia sydäntavara-asetteita käytettäessä luokituksella voidaan vaikuttaa tuottoihin (Orvér 1970 b).

Se, missä vaiheessa sahatukkien laatuluokitus tulisi tehdä, on Suomessa herättänyt keskustelua, mutta yhtenäistä linjaa ei ole syntynyt. Vuoriston (1936 b, s. 245) käsityksen mukaan laatu tulisi arvioida mieluummin leimauksen yhteydessä kuin erillisenä toimena. Heiskasen (1963) mukaan pystypuiden luokituksen tarkistaminen ja valvonta on huomattavasti vaikeampaa kuin tukkien luokituksen, ja tämän vuoksi hän päätyi puoltamaan tukeittaista luokitusta esim. luovutuspaikalla. — Muissa Pohjoismaissa on otettu sama kanta: niinpä Ruotsissa raaka-aine luokitellaan tukeittain (Mätningsinstruktioner... 1979), niin myös Norjassa pääsääntöisesti (Forskrifter... 1976). Vain Tanskassa on enemmän eräkohtainen ajattelu, joskin myös siinä on piirteitä tukeittaisesta tarkastelusta. Sitä paitsi myös tanskalainen luokitus tehdään valmistetuista rungoista eikä pystypuista (Grenaa Kristensen 1978).

Suomessa laatuluokitusta on sovellettu kummallakin tavalla. Erityisesti valtion metsistä puutavaraa myytäessä on tehty arviointeja pystypuuston laadusta mm. mittaamalla tyvitukit pystyyn. Valmiiden sahatukkien luokituksessa on eniten sovellettu Heiskasen ja Siimeksen (1959) laatuluokitusta, joskin senkin käyttö on jäänyt vähäiseksi ja koeluonteiseksi.

Edellä on jo viitattu eräisiin yleisiin syihin, jotka selittävät, miksi Suomessa ainoana Pohjoismaana ei käytetä sahojen raaka-aineelle laatuluokitusta. Monissa kirjoituksissa on lisäksi viitattu useimpien laatuluokitusmenetelmien subjektiivisuuteen, jonka on pelätty vaikuttavan lopputulokseen sekä hyvän että huonon markkinatilanteen vallitessa. Harkinnanvaraisuudesta on kuitenkin vaikea päästä eroon, kuten pohjoismaisten laatuluokitusjärjestelmien tarkastelu osoittaa. Esim. Ruotsissa sahatukkien arvo määräytyy tukeista *arvioidun* sydäntavaran laadun perusteella. Kokeiluja on tosin tehty objektiivisesti mitattavien tekijöiden käyttämiseksi (mm. Orvér 1970 a, Jakobsson 1976), mutta käytännön toimiin saakka

ei ole päästy. Ilmeistä onkin, että objektiivisesti mitattavien tekijöiden käyttö käytännön työssä kohtaa vaikeuksia.

Käsillä olevassa tutkimuksessa pyritään selvittämään, missä määrin on mahdollista objektiivisin mittauksin todeta pystypuista niiden laatu sahatavaran arvon kannalta. Tutkimuksessa keskitytään mäntyyn, jossa raaka-aineen laadun vaikutus sahatavaran arvoon on suurempi kuin kuusessa.

2. AINEISTO

Tutkimuksen empiiristä aineistoa ei saatu otannallisin menetelmin, koska pyrittiin keinotekoisesti saamaan aikaan laatumuuttujien mahdollisimman suuri vaihtelu. Näin ollen esim. keskiarvotulokset eivät osoita maan eri osissa vallitsevaa keskilaatua, vaan ne ovat aineiston ominaisuuksia. — Kun tavoitteena oli nimenomaan riippuvuuksien selvittäminen, selitettävien ja selittävien muuttujien suurta vaihteluväliä on pidettävä tarpeellisena jopa niin, että siihen kannattaa pyrkiä edustavuudenkin kustannuksella.

Riittävän vaihtelun aikaansaamiseksi aineistoa kerättiin seitsemältä alueelta, jotka edustivat maan eri osissa esiintyviä olosuhteita. Kuudella alueella pyrittiin kullakin mittaamaan yhdeksän leimikkoa, joista kolme edustaisi heikkoa tukkien laatua, kolme keskinkertaista ja kolme erittäin hyvää. Edelleen leimikot pyrittiin valitsemaan siten, että kussakin mainitussa ryhmässä yksi edustaisi nuorehkoa metsää, jossa tukkipuita oli niukalti, toinen myöhäistä kasvatusvaihetta, jolloin tukkien osuus hakkuukertymässä on jo runsas sekä kolmas vanhaa päätehakkuuikäistä puustoa. — Näin menetellen pyrittiin saamaan aineistoa iältään ja rungon laadultaan erilaisilta leimikoilta.

Seitsemännen alueen aineisto pyrittiin varaamaan koesahauksia varten. Kun myös siitä tehtiin samat mittaukset kuin muualtakin, se on sisällytetty erilaisiin tarkasteluihin.

Kun aineistoa kerättäessä osoittautui vaikeaksi löytää riittävästi nuoria kasvatusmetsiä, joista tukkipuuta olisi leimattu, muutamia suunnitelluista leimikoista jäi aineistosta pois. Puutteellisuudet jäivät kuitenkin kokonaisuuteen katsoen vähäisiksi.

Tutkimus pyrittiin keskittämään pääasiassa mäntyyn. Kuusta otettiin aineistoon vain siinä määrin kun sitä esiintyi leimikoilla sekapuuna.

Leimikot pyrittiin valitsemaan siten, että metsätyyppi olisi VT tai MT. Varsinainen aineiston keruu keskitettiin kangasmaille, joskin pienialaiset suokuviot otettiin mukaan, mikäli ne kuuluivat leimikkoon.

Leimikot valittiin mukana olevien metsäteollisuusyhtiöiden toimesta hakkuuohjelmiin tulevien leimikoiden joukosta siten, että ensimmäiset maastotyöt tehtiin muutamaa viikkoa ennen varsinaista hakkuuta ja metsäkuljetusta. Näin menetellen kaadettavista koepuista tehtävät tukit korjattiin tavanomaisen puunkorjuun yhteydessä eikä olennaisia lisäkustannuksia juuri syntynyt. Aineiston keruussa pyrittiin etenemään leimikkoketjutuksen mukaisesti, jotta tukkeihin ei tulisi metsävarastoinnin vuoksi sinistymää.

Aineisto kerättiin kahdessa osassa. Ensimmäisessä vaiheessa tehtiin ne kenttätyöt, jotka voidaan ajatella jätettäväksi leimaajalle tämän tehdessä leimauksen yhteydessä arvion tukkipuuston laadusta. Toisessa vaiheessa selvitettiin tarkemmin mittauksin, mikä oli runkojen todellinen laatu. Se edellytti koerunkojen kaatamista ja niiden valmistamista tukeiksi. Työmäärän pitämiseksi kohtuullisena jokaiselta leimikolta valittiin noin kymmenen koealaa. Leimikkona pidettiin tällöin tavanomaista hakkuun piiriin kuuluvaa leimikkoa, jolla olisi pystymittausta käytettäessä vain yksi PMP-systeemin mukainen koepuualue.

Jos leimikko oli niin heterogeeninen, että koepuualueita olisi tullut useita, leimikoksi käsitettiin tätä tutkimusta varten kultakin todelliselta leimikolta vain yksi koepuualue. Jokaiselta leimikolta pyrittiin mittaamaan vähintään 50 runkoa. Tämä tavoite myös saavutettiin.

Taulukko 1. Tutkimusaineisto
Table 1. Study material

Alue *District*	Kuvaus *Description*	Leimikkoja *No. of stands*	Runkoja *No. of stems*	Tukkeja *No. of logs*
1	Imatra lähikuntineen — *Imatra with surrounding communes*	9	622	1 333
2	Jyväskylä lähikuntineen — *Jyväskylä with surrounding communes*	7	575	1 309
3	Varsinais-Suomi Raumalta sisämaahan — *From Rauma inland*	9	480	986
4	Länsirannikko Rauman lähellä — *Rauma coast*	8	418	722
5	Etelä-Lappi — *Southern Lapland*	7	500	968
6	Pohjois-Karjalan itäosa — *Eastern North Carelia*	9	588	1 243
7	Lapinjärvi	3	221	609
	Yhteensä — *Total*	52	3 404	7 170

Kaikkiaan mitattiin 52 leimikkoa, joilta mitattiin yhteensä 3 404 runkoa. Niistä tehtyjen tukkien määrä oli 7 170. — Aineiston jakauma alueittain on esitetty taulukossa 1.

Jokaiselta leimikolta tehtiin seuraavat mittaukset.

Koealoittain todettiin ensimmäisenä työvaiheena pohjapinta-alat puu- ja puutavaralajeittain. Mittauksessa erotettiin kaikkien puulajien yhteinen pohjapinta-ala sekä pohjapinta-alat männystä, kuusesta, koivusta, haavasta ja mahdollisista muista puulajeista siten, että erotettiin tukkipuukokoinen ja muu puusto. Lisäksi arvioitiin tukkipuiden keski-ikä. Tarvittaessa käytettiin kantomittauksia.

Jokaiselta koealalta todettiin myös kehitysluokka ja metsätyyppi.

Ennen hakkuuta rungoista mitattiin rinnankorkeusläpimitta, läpimitta 6 m korkeudelta sekä pituus maasta. Mittauksissa käytettiin PMP-systeemin ohjeita. Näin ollen läpimitat mitattiin senttimetrin tasaavin luokin sekä pituus metrin tasaavin luokin.

Oksaisuutta mitattiin rungoista monipuolisesti. Mittauksin todettiin etäisyys kaatoleikkauskohdasta alimpaan erilliseen kuivaan oksaan. Oksina otettiin huomioon tässä, kuten muuallakin vain yli 15 mm läpimittaiset oksat. Poikkeuksena oli kuitenkin Pohjois-Suomi, jonka pienikokoisissa mäntyrungoissa rajana oli 10 mm. — Erillisenä oksaa pidettiin silloin, kun sen erotti muusta latvuksesta vähintään kaksi kyljestyneiden oksien kiehkuraa.

Jos oksa oli kuollut, oksana otettiin huomioon vain rungosta esiin työntyvät oksantyngät. Jos nämä oksantyngät oli karsittu ennen mittausta jostakin syystä, ne otettiin kuitenkin huomioon oksantynkinä.

Edelleen todettiin etäisyys kuivan latvuksen alarajaan. Vastaavia periaatteita noudattaen mitattiin myös etäisyydet alimpaan erilliseen vihreitä neulasia sisältävään elävään oksaan sekä elävän latvuksen alarajaan.

Rungosta todettiin myös mahdollinen oksakyhmyisyys. Mittarina käytettiin etäisyyttä maasta kyhmyjä sisältävän osan alarajaan. Kyhmyiksi määriteltiin vähintään 15 mm puun pinnasta ulkonevat osat. Ennenkuin puuta pidettiin kyhmyisenä, ulkonemia piti olla vähintään kaksi.

Oksamittausten lisäksi todettiin myös etäisyys kaarnakuoren alarajaan. Kaarnakuoren rajana pidettiin sitä keskimääräistä kohtaa, jossa männyn kaarna muuttuu hilsekuoreksi.

Rungon lenkous mitattiin senttimetreinä käyttäen apuna 4 m pitkää suoraa keppiä siten, että kepin toinen pää asetettiin tyvileikkauksen keskelle ja toinen pää vastaavasti 4 m korkeudella olevan läpimitan keskelle. Suurin kepin poikkeama tukin keskiviivasta määriteltiin lenkoudeksi. — Tällainen Heiskasen (1954 a) ja Siimeksen (1957) käyttämä mittaamistapa eliminoi tehokkaasti tyvipaisuman vaikutuksen. Vastaavaa lenkouden mittausmenetelmää käytettiin siksi myös

tukkien mittauksessa. — Lenkousarvot eivät kuitenkaan poikenne olennaisesti reunan mukaisesta mittaustavasta, jos siinä otetaan erikseen huomioon tyvipaisuman vaikutus (Ronkanen 1950, s. 3).

Rungosta todettiin myös metsäalan työehtosopimuksen liitteen mukainen oksaisuusluokka. Lopuksi runko arvioitiin pystyyn. Aluksi todettiin, kuinka monta tukkia rungosta tulee tavanomaisia mitta- ja laatuvaatimuksia noudattaen. Tämän jälkeen arvioitiin jokaisen tukin laatu pelkästään oksaisuuden sekä kaikkien havaittavissa olevien tekijöiden perusteella. Jokaisesta tukista merkittiin lomakkeelle sekä pelkästään oksaisuuteen perustuva laatuluokka (jäljempänä *oksaisuuslaatuluokka*) että kaikkien tekijöiden perusteella määräytyvä laatuluokka (jäljempänä *laatuluokka*). Luokitus perustui pääasiassa Heiskasen ja Siimeksen (1959) esittämään kaavioon, joskin kolmannen luokan minimivaatimuksina käytettiin ns. järvi-Suomen laatuvaatimuksia. — Luokitus on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Tutkimuksessa käytetty havusahatukkien laatuluokitus
Table 2. Log grading used in the study

Vika — *Defect*	Tukin latvaläpimitta *Top diameter of log* cm	Laatuluokka — *Quality class* I	II	III
A. Suurin oksa — *Largest knot*		Oksan suurin läpimitta, mm *Maximum knot diameter, mm*		
1. Terve oksa — *Living knot*				
Mänty — *Pine*	—19	15	30	50
	21...27	25	35	65
	29+	30	45	70
Kuusi — *Spruce*	—19	15	30	50
	21...27	30	45	65
	29+	35	50	70
2. Kuiva oksa — *Dead knot*	—19	10	25	40
	21...27	15	30	50
	29+	25	35	65
3. Laho oksa — *Rotten knot*	—19	Ei sallita *Not allowed*	Ei sallita *Not allowed*	25
	21...27			30
	29+			35
4. Poikaoksa — *Vertical knot*	—19	Ei sallita *Not allowed*	Ei sallita *Not allowed*	40
	21...27			45
	29+			55
B. Muut oksat — *Other knots*		Laatuluokka — *Quality class* I	II	III
5. Maksimioksaa pienempien oksien lukumäärä männyllä — *No. of knots smaller than maximum (pine)*		Hajallaan 1...2 *Scattered*	Hajallaan 3...5 *Scattered*	Sallitaan *Allowed*
6. Oksasumma kuusella, kertaa tukin läpimitta — *Sum of knot diameter (spruce), times the top diameter of log*		1	1,5	3
7. Oksakyhmyt — *Overgrown knots*		Ei sallita *Not allowed*	Pieniä sallitaan *Small allowed*	Erittäin suuria ei sallita *Very large are not allowed*

C. Muut viat — *Other defects*	Tukin latvaläpimitta *Top diameter of log* cm	Laatuluokka — *Quality class*		
		I	II	III
8. Lenkous koko pituudella, cm — *Sweep at the whole length, cm*	—19	2	4	4
	21+	3	6	6
9. Mutka ja monivääryys — *Sharp crook and multidimensional crook*		Ei sallita *Not allowed*	Ei sallita *Not allowed*	Ei sallita *Not allowed*
10. Tyvikoron suurin pituus, dm (sallitaan latvalieriön ulkopuolella) — *Longest butt scar (allowed outside top section), dm*		3 . . . 6	6 . . . 9	Rajoituksetta No limit
11. Keskikoron suurin pituus, dm (latvalieriön ulkopuolella) — *Longest middle-length scar outside top section, dm*		Ei sallita *Not allowed*	3	3 . . . 9
12. Tervasroso ympärysmitasta — *Peridermium canker of circumference*		Ei sallita *Not allowed*	1/4	1/2
13. Suurin kierteisyys — *Maximum spiral grain*		1:14	1:10	1:7
14. Laho — *Decay*		Ei sallita *Not allowed*	Ei sallita *Not allowed*	Ei sallita *Not allowed*
15. Suurin suora sydänhalkeama läpimitasta — *Maximum straight heart shake of top diameter*		Ei sallita *Not allowed*	Ei sallita *Not allowed*	1/2
16. Tiivis vesisilo — *Uncracked wet heart*		Ei sallita *Not allowed*	Pieniä läikkiä sallitaan *Small flakes are allowed*	Sallitaan *Allowed*
17. Rengashalkeama ja halkeillut vesisilo *Ring shake and cracked wet heart*		Ei sallita *Not allowed*	Ei sallita *Not allowed*	Ei sallita *Not allowed*
18. Lyly — *Compression wood*		Ei sallita *Not allowed*	Sallitaan hieman *Allowed a little*	Sallitaan *Allowed*
19. Sinistymä — *Blue stain*		Ei sallita *Not allowed*	Ei sallita *Not allowed*	Ei sallita *Not allowed*

Edellä olevan mukaisesti hyväksytyt tukit saivat luokkamerkinnän 1 . . . 3 sekä raakkitukit tunnuksen 4.

Oksaisuuslaatuluokan ja laatuluokan erottamisella pyrittiin siihen, että oksaisuuden vaikutus saataisiin muista laatutekijöistä erilleen. Esim. jos jonkin rungon tyvitukki olisi oksaisuuden perusteella ensimmäistä laatuluokkaa, mutta koron takia kolmatta laatuluokkaa, oksaisuuslaatuluokaksi merkittiin 1 ja laatuluokaksi 3.

Koepuun kaadon yhteydessä kuvattiin tukkiosa tarkasti PMP-systeemin mukaisesti. Näin ollen jokaisesta osasta esitettiin sen luokka ja etäisyys kaatoleikkauksesta. Luokkina käytettiin tukkien laatuluokkaa sekä luokkia 4 ja 5, jotka kuvasivat vastaavassa järjestyksessä kuituosaa sekä kuitupuuksi kelpaamatonta hylkyosaa.

Jaottelussa pyrittiin hyvän apteeraustavan mukaisesti hyvään laatuun. Näin ollen edellytettiin tehtäväksi leikkoja mm. silloin, kun menettelyllä saatiin muutoin kolmanteen luokkaan kuuluva tukki ensimmäiseen tai toiseen luokkaan.

Kuusirungoista mitattiin edellisten mittausten lisäksi tyvitukin oksaisimmalla 15 dm:n osalla olevien yli 20 mm paksujen oksien lukumäärä. Tämänkaltaisesta tunnuksesta on nimittäin saatu hyviä kokemuksia sekä Suomessa (Siimes 1962 a, s. 12) että Ruotsissa (Jakobsson 1976). Lisäksi mitattiin latvuksen suurin leveys maahan projisoituna. Jos latvuksen levein kohta oli alhaalla, kuten se Pohjoismaissa yleensä on (Ager ym. 1964, s. 70, Western 1971, s. 87, Kärkkäinen 1972), mittaus tehtiin yksinkertaisesti nostamalla kaulaimen varsi pystyyn ja mittaamalla näin latvuksen reunojen etäisyys toisistaan.

Sen jälkeen kun työntekijä oli tehnyt rungot tukeiksi itsenäisesti ja ilman tutkijoiden apteerausohjetta, mitattiin tukit. Työntekijöille annettiin ohjeeksi pyrkiä tavanomaiseen apteeraukseen, jolloin pyrittiin koko leimikkoa ajatellen tavanomaiseen keskipituuteen.

Jokaisesta tukista mitattiin pituus desimetreinä sekä läpimitat samassa suunnassa kuoren päältä tyvestä, pituuden puolivälistä ja latvasta. Lisäksi mitattiin latvaläpimitta kuoren alta, jotta tukista voitaisiin selvittää nykykäytännön mukainen taulukkotilavuus.

Jokaisesta tukista todettiin sekä oksaisuuslaatuluokka että laatuluokka. Lenkous mitattiin aiemmin selostetulla tavalla maksimaalisena lenkoutena sijoittamalla suora keppi tai jännitetty mitta tyvi- ja latvaleikkausten keskipisteiden välille. Tämän jälkeen todettiin maksimaalinen poikkeama keskiviivasta.

Oksaisuusluokitus tehtiin karsituista rungoista. Rajatapauksissa oksan läpimittana pidettiin puun pintaa myöten karsitun oksan läpimittaa mitattuna kohtisuoraan puun pituusakselia vastaan.

3. TUKKIRUNKOJA JA TUKKEJA KOSKEVAT TULOKSET

31. Tulosten edustavuus ja tarkastelutapa

Kuten edellä on mainittu, aineistoa kerättäessä pyrittiin keinotekoisesti saamaan aikaan suuri vaihtelu laatutekijöissä valitsemalla harkinnan mukaan huonoja, keskinkertaisia ja hyviä leimikkoja aineistoon. Kyseessä ei ole siis otos eivätkä tulokset verrattavissa otannallisten aineistojen tuloksiin. Tästä huolimatta tietyt aineiston keskiarvot näyttävät olevan valtakunnan metsien inventoinnin yhteydessä saatujen tulosten lähellä. Niinpä etäisyys alimpaan kuivaan oksaan on keskikokoisilla tukkipuilla sama kuin valtakunnan eteläpuoliskossa keskimäärin (kuva 1). Pienillä puilla etäisyys on tämän tutkimuksen aineistossa suurempi. Toisaalta tietyt piirteet poikkeavat paljon puuston keskimääräisistä ominaisuuksista. Esimerkiksi etäisyys elävän latvuksen alarajaan on erityisesti pienissä tukkipuissa selvästi suurempi tämän tutkimuksen aineistossa kuin keskimäärin maan eteläpuoliskossa (kuva 1). Syynä on ilmeisesti se, että pieniläpimittaiset rungot tulivat aineistoon lisävaltapuiden ja vallittujen puiden joukosta järeämpipuustoisilta leimikoilta, kun taas valtakunnalliset keskiarvot perustuvat aineistoon, jossa samassa läpimittaluokassa on myös nuorempien metsien valtapuuyksilöitä. Kun viimeksimainittuja puita ei kuitenkaan juuri poisteta alaharvennustyyppisissä hakkuissa, käsillä olevan tutkimuksen keskiarvot saattavat kuitenkin antaa oikeamman mielikuvan eri rinnankorkeusläpimittaluokkien ominaisuuksista hakattavaa puustoa ajatellen.

Pituussuhteista mainittakoon kuvaan 1 liittyen, että eri läpimittaluokkien pituustulokset vastasivat toisiaan puolen metrin tarkkuudella lukuunottamatta läpimittaluokkia 17. . .23 cm, jolloin käsillä olevan tutkimuksen aineistossa pituus oli selvästi suurempi. Myös tämä piirre tukee käsitystä, että erojen syynä on pienten tukkipuiden tuleminen aineistoon muiden kuin vallitsevien puiden joukosta.

Jäljempänä tuloksia tarkastellaan usealla tavalla, jotka eivät välttämättä vie täsmälleen samanlaisiin johtopäätöksiin. — Ensinnäkin voidaan tutkia yksittäisten tukkien ominaisuuksia ja todeta, millaisista rungoista ne on tehty. Toisaalta voidaan tarkastella yksittäisiä runkoja ja niistä saatavien tukkien laadun ennustamista rungon ominaisuuksien avulla. Edelleen on mahdollista tarkastella leimikoittaisia runkojen keskiarvoja ja päätellä, voidaanko leimikoittaisella otannalla selvittää sieltä saatavien tukkien laatuominaisuudet.

Edelleen on erotettava osuuksien ja absoluuttisten tilavuuksien tarkastelu. Esimerkiksi kun tarkastellaan tuloksia runkokohtaisesti, voidaan laskea eri laatuluokkaa olevien tukkien osuus kunkin rungon tukkiosan tilavuudesta. Tämä tarkastelutapa on erityisen oikeutettu silloin, kun ajatellaan hankittavaksi tietty tilavuusmäärä tukkipuuta, jonka sisäinen laatujakauma halutaan saada mahdollisimman edulliseksi. Toisaalta voidaan tarkastella eri laatuluokkaa olevien tukkien absoluuttisia tilavuuksia. Tämä tarkastelutapa soveltuu erityisesti silloin, kun sahalaitoksilla on pula parhaista laaduista ja joudutaan miettimään keinoja nimenomaan parhaita laatuluokkia olevien tukkien saamiseksi. Tällöin maksimoitavana suureena ei tietenkään ole paraslaatuisten tukkien osuus, vaan paraslaatuisten tukkien absoluuttinen tilavuus.

32. Tukkien ominaisuudet ja taustamuuttujat

Ennen kuin tarkastellaan tukeittaisia ominaisuuksia sekä niiden runkojen ominaisuuksia, joista eri oksaisuuslaatu- ja laatuluokkaa olevat tukit on tehty, on paikallaan tarkastella pystyarvioinnin mahdollisuuksia. On nimittäin otettava huomioon, että puuston luokittelijan arvio rungosta saatavien tukkien laadusta voi olla erilainen kuin työntekijän näkemys, ja tämä saattaa vaikuttaa apteeraukseen. Luokittelija voi esimerkiksi tehdä hyvin lyhyen tukin saadakseen sen tasalaatuiseksi, mutta työntekijä saattaa arvioida tilanteen toisin ja tehdä tukin pidemmäksi, jolloin sen laatu muuttuu.

Arviointikysymyksen selvittämiseksi tarkastellaan seuraavassa tyvitukkien laatua alueittain. Tarkastelu rajoitetaan tyvitukkeihin sen takia, että ylempää rungosta tehtävät tukit riippuvat alempien pituudesta. Näin ollen jos arvioijan ja työntekijän näkemys on poikennut toisistaan tyvitukin osalta, arvioijan näkemys ylempää rungosta tehtävistä tukeista ei voi olla sama kuin työntekijän näkemys.

Kuten aineiston selostamisen yhteydessä mainittiin, puuston luokittelija arvioi rungosta siitä saatavan tyvitukin oksaisuuslaadun ja yleisen laadun ennen kaatoa. Sen jälkeen kun työntekijä oli valmistanut rungot puutavaralajeiksi, tehdyt tukit luokiteltiin. Näin ollen voidaan verrata toisiinsa pystyarviointia ja tehdyn tyvitukin todellista laatua.

Taulukossa 3 on verrattu mänty- ja kuusirungoista saatujen tyvitukkien oksaisuusluokan määrityksen tarkkuutta. Rungosta arvioitaessa käytettiin luonnollisesti ainoastaan oksaisuuslaatuluokkia 1 . . . 3, koska raakkitukkeja ei oletettu tehtäväksi. Käytännössä raakkitukkeja voi syntyä ja tämän vuoksi tyvitukin oksaisuuslaatuluokka voi olla 1 . . . 4.

Taulukosta 3 voidaan havaita, että kaikilla alueilla arviointi onnistui hyvin. Jos todella tehdyn tyvitukin oksaisuuslaatuluokka oli 1, vastaava arviointi oli tehty n. 90 % rungoista. Mikäli poikkeamaa oli, tyvitukin oksaisuuslaatuluokaksi oli arvioitu 2, aniharvoin 3. Poikkeuksena on kuitenkin alue 4, jolla luokittelijan ja työntekijän näkemys apteerauksesta vastasi toisiaan vain 65 %:ssa runkoja.

Taulukko 3. Tyvitukkien oksaisuuslaatuluokan määrityksen tarkkuus. Mänty ja kuusi.
Table 3. Accuracy in estimating the knottiness class of butt logs. Pine and spruce.

Alue *District*	Arvio rungosta *Estimated from stem*	Tehdyn tyvitukin oksaisuuslaatuluokka — *Observed knottiness class of butt log*								Yht. *Total*
		1		2		3		4		
		n	%	n	%	n	%	n	%	
1	1	177	93,7	35	13,2	3	1,8	—	·	215
	2	12	6,3	213	80,0	30	18,0	—	·	255
	3	—	·	18	6,8	134	80,2	—	·	152
	Yht. — *Total*	189	100,0	266	100,0	167	100,0	—	·	622
2	1	208	92,4	35	22,2	2	1,0	—	·	245
	2	17	7,6	115	72,8	27	14,4	—	·	159
	3	—	·	8	5,0	159	84,6	3	100,0	170
	Yht. — *Total*	225	100,0	158	100,0	188	100,0	3	100,0	574
3	1	263	87,7	34	26,7	3	6,0	—	·	300
	2	37	12,3	83	65,4	20	40,0	—	·	140
	3	—	·	10	7,9	27	54,0	—	·	37
	Yht. — *Total*	300	100,0	127	100,0	50	100,0	—	·	477
4	1	44	64,7	42	21,2	—	·	1	11,1	87
	2	23	33,8	127	64,2	46	32,9	—	·	196
	3	1	1,5	29	14,6	94	67,1	8	88,9	132
	Yht. — *Total*	68	100,0	198	100,0	140	100,0	9	100,0	415
5	1	143	94,7	29	17,9	2	1,1	—	·	174
	2	6	4,0	83	51,2	12	6,5	—	·	101
	3	2	1,3	50	30,9	172	92,4	1	100,0	225
	Yht. — *Total*	151	100,0	162	100,0	186	100,0	1	100,0	500
6	1	104	88,9	33	26,0	3	0,9	—	·	140
	2	13	11,1	67	52,7	63	18,5	—	·	143
	3	—	·	27	21,3	274	80,6	4	100,0	305
	Yht. — *Total*	117	100,0	127	100,0	340	100,0	4	100,0	588
7	1	112	93,3	10	11,6	—	·	—	·	122
	2	8	6,7	72	83,7	4	28,6	1	100,0	85
	3	—	·	4	4,7	10	71,4	—	·	14
	Yht. — *Total*	120	100,0	86	100,0	14	100,0	1	100,0	221
Yht. — *Total*	1	1 051	89,8	218	19,4	13	1,2	1	5,6	1 283
	2	116	9,9	760	67,6	202	18,6	1	5,6	1 079
	3	3	0,3	146	13,0	870	80,2	16	88,8	1 035
	Yht. — *Total*	1 170	100,0	1 124	100,0	1 085	100,0	18	100,0	3 397

Jos tyvitukin todellinen oksaisuuslaatuluokka oli 2, useimmissa tapauksissa vastaava arvio oli tehty jo rungosta. Osuvuus ei kuitenkaan ollut aivan yhtä hyvä kuin parhaiden tukkien kohdalla. Keskimäärin kuitenkin lähes 70 % rungoista arvioitiin oikein. Mikäli virhettä oli, todellisuudessa toiseen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluva tukki arvioitiin tavallisesti ensimmäiseen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvaksi. Toiseenkin suuntaan käyviä poikkeuksia oli runsaasti.

Mikäli tyvitukin todellinen oksaisuuslaatuluokka oli 3, myös tällöin arvioinnin osuvuus oli hyvä, keskimäärin 80 %. Poikkeuksellinen alue oli 3, jossa luokittelijan ja työntekijän näkemysten vastaavuus oli vain 54 %.

Taulukko 4. Tyvitukkien laatuluokan määrityksen tarkkuus. Mänty ja kuusi.
Table 4. Accuracy in estimating the quality class of butt logs. Pine and spruce.

Alue *District*	Arvio rungosta *Estimated from stem*	Tehdyn tyvitukin laatuluokka — *Observed quality class of butt log*								Yht. *Total*
		1		2		3		4		
		n	%	n	%	n	%	n	%	
1	1	135	93,8	47	16,0	2	1,2	4	28,6	188
	2	9	6,2	224	76,2	26	15,3	3	21,4	262
	3	—	·	23	7,8	142	83,5	7	50,0	172
	4	—	·	—	·	—	·	—	·	—
	Yht. — *Total*	144	100,0	294	100,0	170	100,0	14	100,0	622
2	1	159	94,1	63	33,9	1	0,6	4	8,0	227
	2	10	5,9	115	61,8	26	15,3	19	38,0	170
	3	—	·	8	4,3	143	84,1	27	54,0	178
	4	—	·	—	·	—	·	—	·	—
	Yht. — *Total*	169	100,0	186	100,0	170	100,0	50	100,0	575
3	1	172	81,9	54	29,7	6	10,2	7	24,1	239
	2	37	17,6	107	58,8	23	39,0	8	27,7	175
	3	1	0,5	20	11,0	29	49,2	9	31,0	59
	4	—	·	1	0,5	1	1,6	5	17,2	7
	Yht. — *Total*	210	100,0	182	100,0	59	100,0	29	100,0	480
4	1	26	74,3	33	18,8	4	2,3	2	5,4	65
	2	7	20,0	116	66,3	58	33,9	11	29,7	192
	3	2	5,7	26	14,9	108	63,2	24	64,9	160
	4	—	·	—	·	1	0,6	—	·	1
	Yht. — *Total*	35	100,0	175	100,0	171	100,0	37	100,0	418
5	1	99	88,4	24	13,9	3	1,5	—	·	126
	2	12	10,7	99	57,2	16	7,9	3	25,0	130
	3	1	0,9	50	28,9	184	90,6	9	75,0	244
	4	—	·	—	·	—	·	—	·	—
	Yht. — *Total*	112	100,0	173	100,0	203	100,0	12	100,0	500
6	1	77	89,5	43	32,6	3	1,0	11	18,3	134
	2	9	10,5	64	48,5	61	19,7	11	18,3	145
	3	—	·	25	18,9	246	79,3	38	63,4	309
	4	—	·	—	·	—	·	—	·	—
	Yht. — *Total*	86	100,0	132	100,0	310	100,0	60	100,0	588
7	1	75	94,9	13	13,1	1	6,2	4	14,8	93
	2	4	5,1	84	84,8	5	31,3	20	74,1	113
	3	—	·	2	2,1	10	62,5	3	11,1	15
	4	—	·	—	·	—	·	—	·	—
	Yht. — *Total*	79	100,0	99	100,0	16	100,0	27	100,0	221
Yht. — *Total*	1	743	89,0	277	22,3	20	1,8	32	14,0	1 072
	2	88	10,5	809	65,2	215	19,6	75	32,8	1 187
	3	4	0,5	154	12,4	862	78,4	117	51,0	1 137
	4	—	·	1	0,1	2	0,2	5	2,2	8
	Yht. — *Total*	835	100,0	1 241	100,0	1 099	100,0	229	100,0	3 404

Raakkitukkeja kertyi tyvestä suhteellisen vähän. Aniharvoja poikkeuksia lukuunottamatta ne oli arvioitu pystypuissa oksaisuuslaatuluokkaan 3 kuuluviksi.

Mikäli otetaan huomioon myös muut laatutekijät kuin oksaisuus, saatava kuva pysyy olennaisesti samana. Tämä ilmenee taulukosta 4, jossa on esitetty tyvitukkien

kaikista laatutekijöistä määräytyvän laatuluokan määrityksen tarkkuus mänty- ja kuusirunkojen ollessa kyseessä. Voidaan havaita, että myös tällöin luokittelijan ja työntekijän näkemys apteerauksesta on ollut tyydyttävässä määrin sama. Pelkkään oksaisuuslaatuluokitukseen verrattuna tulokset ovat heikentyneet hyvin vähän. Toisaalta koulutustarpeeseen viittaa se, että raakkitukkien määrä on noussut voimakkaasti. Jopa 14 % raakkitukeista on sellaisia, joiden laaduksi on arvioitu rungosta 1. Samoin lähes 33 % ensimmäisen laatuluokan tukeista on sellaisia, joiden laatuluokaksi on arvioitu pystyrungosta 2. Toisaalta nämä luvut viittaavat siihen, että raakkitukeiksi joutuvat kappaleet saattavat olla jotakin yksittäistä vikaa lukuunottamatta erittäin hyvälaatuisia. Jos yksittäistä vikaa ei havaita, muiden tekijöiden perusteella määräytyvä laatu voi olla hyvinkin korkea.

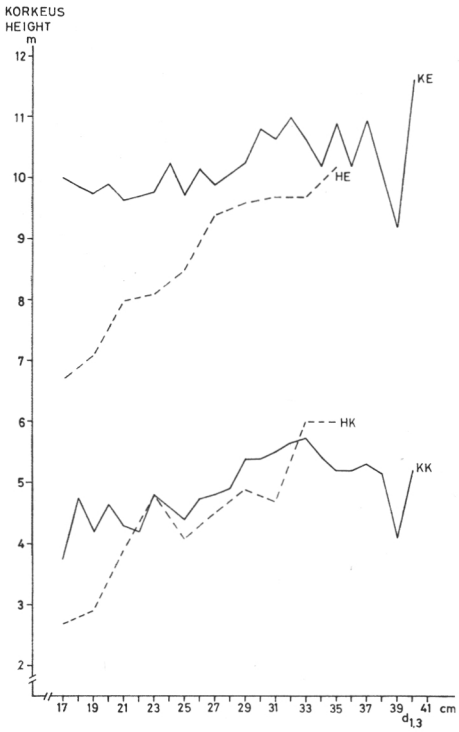
Edellä esitetyistä tuloksista voidaan päätellä, että ainakin tyvitukeissa pystyarvioinnin mahdollisuuksiin voidaan luottaa. Käytännössä tarvittavalla tarkkuudella rungoista voidaan nähdä, millaisiksi tukeiksi ne tehdään. — Tulos on myönteisempi kuin aiemmin on saatu epämääräisempää Vuoriston järjestelmää käytettäessä (Heiskanen 1951 d), mutta vastaa mielikuvaa siitä, mihin päästään tukeittaisessa luokituksessa (Heiskanen 1962, s. 10).

Itse asiassa arvioinnin keskittäminen rungon alaosaan on hyvin perusteltua, koska hyvälaatuisia tukkeja saadaan ainoastaan sieltä. Männyn osalta tämä ilmenee taulukosta 5, jossa on esitetty rungon eri kohdista olevien tukkien oksaisuuslaatuluokat.

Joskin eri alueet poikkeavat hieman toisistaan, voidaan havaita, että valtaosa (keskimäärin 90 %) ensimmäiseen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvista tukeista on tyvitukkeja. Käytännöllisesti katsoen kaikki muut ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukit ovat toisia tukkeja kannosta lukien. — Myös Aro ja Rikkonen (1966, s. 42) havaitsivat, että väli- ja latvatukeista parasta laatuluokkaa on vähän, alle 10 %. — Nämä tulokset merkitsevät sitä, että jo tyvitukkien erottaminen muista tukeista on tehokasta laatuluokitusta, kuten myös Asikainen (1980) on todennut.

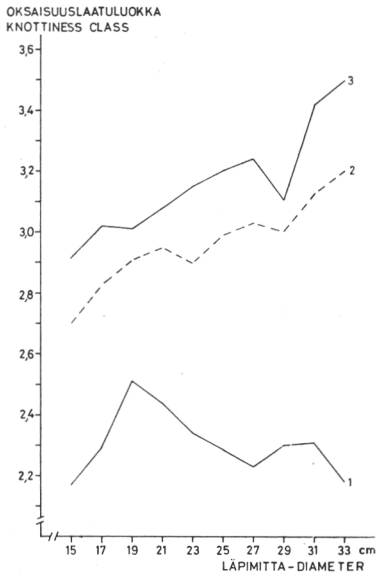
Taulukosta 5 voidaan edelleen havaita, että myös oksaisuuslaatuluokkaan 2 kuuluvista tukeista suurin osa on tyvitukkeja, keskimäärin 65 %. Edelleen havaitaan, että kolmanteen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvista tukeista vain noin neljännes on tyvitukkeja. — Voidaan näin ollen päätellä, että hyvälaatuisia mäntytukkeja on käytännössä mahdollista saada vain rungon tyviosista. Tästä voidaan edelleen päätellä, että laatuarviointi voidaan ja se kannattaa keskittää rungon tyviosaan. Tätä kantaa tukevat myös Heiskasen (1954 a) tulokset, joiden mukaan tyvitukin laatu indikoi myös muiden tukkien laatua.

Myös käsillä olevassa tutkimuksessa saatiin vastaava tulos. Jos tyvitukin oksaisuuslaatuluokka oli 1, rungosta saadun toisen tukin keskimääräinen oksaisuuslaatuluokka oli 2,35 ja likimain riippumaton tyvitukin koosta. Jos tyvitukin oksaisuuslaatuluokka oli 2, toisen tukin oksaisuuslaatuluokka oli 2,93. Laatu oli sitä heikompi, mitä suurempi tyvitukki oli. Jos taas tyvitukin oksaisuuslaatuluokka



Kuva 1. Ylemmät kuvaajat: Etäisyys maasta elävän latvuksen alarajaan tässä (KE) ja Hakkilan ym. (1972 (HE) tutkimuksessa. Alemmat kuvaajat: Etäisyys alimpaan kuivaan oksaan tässä (KK) ja Hakkilan ym. (1972) (HK) tutkimuksessa.

Fig. 1. Upper lines: Distance from the ground to the lower border of the living crown in this study (KE) and according to Hakkila et al. (1972) (HE). Lower lines: Distance from the ground to the lowest dead branch in this study (KK) and according to Hakkila et al. (1972) (HK).



Kuva 2. Rungosta saadun toisen tukin oksaisuuslaatuluokka tyvitukin kuorettoman läpimitan mukaan, kun tyvitukin oksaisuuslaatuluokka on 1, 2 tai 3.

Fig. 2. Knottiness of the second log along the stem according to the top diameter u.b. of butt log as the knottiness class of butt log is 1, 2 or 3.

oli 3, toisen tukin oksaisuuslaatuluokka oli 3,11. Myös tällöin laatu heikkeni tyvitukin suuretessa. — Nämä tulokset on esitetty kuvassa 2.

Jos rungosta saatiin kolmas tai neljäs tukki, niiden oksaisuuslaatuluokka oli lähes aina 3 tai 4 (raakkitukki).

Kuinka sitten mäntyrunkojen tukkiosan tilavuus jakaantuu eri oksaisuuslaatuluokkien kesken, kun puu suurenee?

Koska käytettävissä oleva aineisto oli runsas, kysymystä lähestyttiin tilastollisesti. Taulukkoon 6 on laskettu, kuinka eri oksaisuuslaatuluokkiin kuuluvien tukkien osuus rungon tukkiosan tilavuudesta riippuu rinnankorkeusläpimitasta. Prosenttiosuudet on laskettu tukkien tilavuuden perusteella. Mahdollisesti olisi saatu hieman

Taulukko 5. Rungon eri kohdista olevien tukkien oksaisuuslaatuluokat. Mänty.
Table 5. Knottiness class of logs originating from various parts of stem. Pine.

Alue *District*	Rungon tukki *No. of log*	Tukin oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class of log*									
		1		2		3		4		Yht. — *Total*	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
1	Tyvi — *Butt*	187	89,5	247	65,7	141	20,0	—	·	575	43,1
	2.	22	10,5	109	29,0	334	47,4	5	11,6	470	35,3
	3.	—	·	20	5,3	189	26,8	20	46,5	229	17,2
	4.	—	·	—	·	41	5,8	18	41,9	59	4,4
	Yht. — *Total*	209	100,0	376	100,0	705	100,0	43	100,0	1 333	100,0
2	Tyvi — *Butt*	226	92,2	153	59,8	180	23,6	2	4,5	561	42,9
	2.	19	7,8	101	39,5	331	43,3	16	36,4	467	35,7
	3.	—	·	2	0,7	233	30,5	21	47,7	256	19,6
	4.	—	·	—	·	20	2,6	5	11,4	25	1,8
	Yht. — *Total*	245	100,0	256	100,0	764	100,0	44	100,0	1 309	100,0
3	Tyvi — *Butt*	281	82,4	96	42,5	47	12,7	—	·	424	43,0
	2.	58	17,0	114	50,4	177	47,8	14	28,6	363	36,8
	3.	2	0,6	16	7,1	139	37,6	31	63,3	188	19,1
	4.	—	·	—	·	7	1,9	4	8,1	11	1,1
	Yht. — *Total*	341	100,0	226	100,0	370	100,0	49	100,0	986	100,0
4	Tyvi — *Butt*	66	97,1	181	81,5	142	42,7	13	13,1	402	55,7
	2.	2	2,9	40	18,0	163	48,9	49	49,5	254	35,2
	3.	—	·	1	0,5	28	8,4	36	36,4	65	9,0
	4.	—	·	—	·	—	·	1	1,0	1	0,1
	Yht. — *Total*	68	100,0	222	100,0	333	100,0	99	100,0	722	100,0
5	Tyvi — *Butt*	151	88,8	162	81,8	186	32,2	1	4,3	500	51,7
	2.	18	10,6	35	17,7	314	54,4	12	52,2	379	39,2
	3.	1	0,6	1	0,5	75	13,1	9	39,2	86	8,8
	4.	—	·	—	·	2	0,3	1	4,3	3	0,3
	Yht. — *Total*	170	100,0	198	100,0	577	100,0	23	100,0	968	100,0
6	Tyvi — *Butt*	116	99,1	118	69,4	336	37,9	4	5,8	574	46,2
	2.	1	0,9	51	30,0	393	44,3	35	50,7	480	38,6
	3.	—	·	1	0,6	152	17,1	30	43,5	183	14,7
	4.	—	·	—	·	6	0,7	—	·	6	0,5
	Yht. — *Total*	117	100,0	170	100,0	887	100,0	69	100,0	1 243	100,0
7	Tyvi — *Butt*	120	81,6	86	54,8	14	4,8	1	8,3	221	36,3
	2.	26	17,7	65	41,4	123	42,0	2	16,7	216	35,5
	3.	1	0,7	6	3,8	133	45,4	6	50,0	146	24,0
	4.	—	·	—	·	23	7,8	3	25,0	26	4,2
	Yht. — *Total*	147	100,0	157	100,0	293	100,0	12	100,0	609	100,0
Yht. — *Total*	Tyvi — *Butt*	1 147	88,4	1 043	65,0	1 046	26,6	21	6,2	3 257	45,4
	2.	146	11,3	515	32,1	1 835	46,7	133	39,2	2 629	36,7
	3.	4	0,3	47	2,9	949	24,2	153	45,2	1 153	16,1
	4.	—	—	—	—	99	2,5	32	9,4	131	1,8
	Yht. — *Total*	1 297	100,0	1 605	100,0	3 929	100,0	339	100,0	7 170	100,0

erilaisia tuloksia, mikäli todellisten tukkien tilavuuden asemasta olisi tarkasteltu eri laatuluokkien päättymiskohtien mukaisia tilavuuksia. Käytetty tarkastelutapa vastaa kuitenkin paremmin käytännössä ilmenevää tilannetta, käyttäväthän sahat nimenomaan tukkeja eikä eri laaturajojen perusteella tehtyjä kappaleita.

Taulukko 6. Mäntytukkien tilavuuden jakautuminen eri oksaisuuslaatuluokkiin rinnankorkeusläpimitan mukaan. Koko aineisto.

Table 6. Volume percentages of pine log knottiness classes according to breast height diameter. Whole material.

Rinnankorkeusläpimitta *Breast height diameter* cm	Runkoja *No. of stems*	Tukkien keskitilavuus *Average log volume* dm³		Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class* Tilavuusosuus, % — *Volume percentage*			
		Taulukko *Table*	Newtonin kaava *Newton rule*	1	2	3	4
17	16	119,4	106,3	27,0	26,0	47,0	0,0
18	56	137,0	125,5	15,1	45,6	39,3	0,0
19	165	169,4	159,3	10,6	39,7	49,7	0,0
20	210	201,3	188,5	13,2	41,0	45,5	0,3
21	252	227,9	216,1	17,1	33,9	48,5	0,5
22	185	268,3	258,3	11,0	27,7	60,5	0,8
23	242	304,4	292,5	18,6	28,8	51,4	1,2
24	199	343,3	332,8	15,1	28,6	55,7	0,6
25	238	364,9	356,6	18,0	23,0	57,7	1,3
26	190	412,1	403,1	22,4	23,9	52,6	1,1
27	206	460,0	452,0	26,1	22,5	49,3	2,1
28	176	504,4	497,8	23,5	24,2	50,2	2,1
29	207	552,3	542,2	29,8	22,5	43,7	4,0
30	191	613,3	600,3	26,6	22,3	47,5	3,6
31	148	667,9	653,8	31,5	20,6	43,3	4,6
32	123	712,9	702,7	33,9	20,3	41,9	3,9
33	104	756,2	741,7	33,9	19,5	41,9	4,7
34	82	770,3	766,2	31,5	17,7	44,1	6,7
35	75	875,1	862,3	30,1	18,1	44,5	7,3
36	61	883,1	868,7	32,1	17,6	44,6	5,7
37	41	983,9	963,9	31,0	17,4	43,4	8,2
38	42	1 051,7	1 043,0	26,0	22,4	40,1	11,5
39	21	949,3	973,9	25,9	9,4	52,0	12,7
40	18	1 110,4	1 106,7	30,4	15,0	42,8	11,8
Yht. — *Total*	3 248	456,1	445,6	25,3	23,4	47,7	3,6

Taulukosta 6 voidaan havaita, että ensimmäiseen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvien tukkien tilavuusosuus laskee aluksi. Minimi saavutetaan noin 19 cm rinnankorkeusläpimittaluokassa. Ilmiö johtuu siitä, että aivan pienistä rungoista tehdään ainoastaan tyvitukki, jolloin latvatukkien osuuden lisääntyminen rungon suurenemisen myötä heikentää keskimääräistä tilannetta.

Minimin jälkeen alkaa nousu, joka hidastuu jatkuvasti puun kasvaessa. Kun rinnankorkeusläpimitta on noin 30 cm, ensimmäiseen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvien tukkien tilavuusosuus ei enää juuri muutu. Ylijäreiden puiden kasvattaminen siis ei enää lisää parhaiden tukkilaatujen osuutta tukkiosan kokonaistilavuudesta.

Taulukossa 6 on esitetty myös kahdella eri tavalla määritetty tukkien tilavuus. Kuten aineiston selostamisen yhteydessä mainittiin, tukkien kuorellinen tilavuus laskettiin sekä tavanomaiseen tapaan luokitellun kuorettoman latvaläpimitan perusteella että kuoren päältä mitattujen kolmen läpimitan avulla Newtonin kaavalla. Kuten taulukosta 6 ilmenee, tulokset riippuvat jonkin verran siitä, kumpaa mit-

taustapaa on käytetty. Suurilla puilla erot ovat vähäisiä, mutta pienissä puissa tukkien latvaläpimitan mukainen tilavuus on saatu yleensä liian suureksi. — Ilmeisesti syynä on se, että nykyisin käytössä oleva latvaläpimitan mukainen mittaustapa antaa yleensä liian suuria tuloksia nimenomaan pienille tukeille, joita saadaan pienistä rungoista.

Vastaavat tulokset saatiin myös tarkastelemalla kaikkien tekijöiden perusteella määräytyvää laatua (taulukko 7). Kiintoisaa myös on, että oksaisuuslaatuluokasta 1 siirtyy niin paljon tukkeja eri vikojen takia laatuluokkaan 2, että sen osuus nousee hieman siitä huolimatta, että siitä puolestaan siirtyy tukkeja pois. Kolmannen luokan osuus alenee ensimmäisen luokan tavoin: siitä siis siirtyy enemmän tukkeja raakkitukeiksi kuin siihen siirtyy tukkeja paremmista luokista.

Myös raakkitukkien luonne muuttuu. Kun pelkästään oksaisuuden mukaan arvioitaessa raakkitukit saadaan pääasiassa suurista rungoista, kaikki luokitustekijät huomioon ottaen raakkitukkeja on paljon sekä pienissä että suurissa rungoissa. — Pienissä rungoissa raakkitukkeja tekevä ominaisuus oli lenkous, suurissa oksaisuus.

Huomiota kiinnittää taulukoissa 6 ja 7 parittomien rinnankorkeusläpimittaluokkien runsas esiintyminen. Ainoa järkevä syy tähän on aineiston kerääjien tot-

Taulukko 7. Mäntytukkien tilavuuden jakautuminen eri laatuluokkiin rinnankorkeusläpimitan mukaan. Koko aineisto.

Table 7. Volume percentages of pine log quality classes according to breast height diameter. Whole material.

Rinnankorkeusläpimitta *Breast height diameter* cm	Runkoja, kpl *No. of stems*	Laatuluokka — *Quality class*			
		1	2	3	4
		Tilavuusosuus, % — *Volume percentage*			
17	16	27,0	26,0	20,3	26,7
18	56	7,3	41,5	41,2	10,0
19	165	7,2	36,5	39,5	16,8
20	210	9,2	34,8	41,0	15,0
21	252	10,8	32,1	46,9	10,2
22	185	6,2	24,6	56,3	12,9
23	242	12,8	28,6	49,6	9,0
24	199	9,4	31,4	49,5	9,7
25	238	12,6	23,2	57,0	7,2
26	190	16,4	26,7	48,1	8,8
27	206	19,8	25,2	48,5	6,5
28	176	17,3	16,7	47,7	18,3
29	207	21,6	28,3	42,3	7,8
30	191	18,4	27,5	46,0	8,1
31	148	24,4	24,5	44,0	7,1
32	123	28,3	25,2	41,1	5,4
33	104	27,7	23,3	41,2	7,8
34	82	21,5	24,7	43,6	10,2
35	75	24,8	21,0	44,8	9,4
36	61	25,9	21,5	44,7	7,9
37	41	20,0	24,9	44,3	10,8
38	42	17,1	28,7	41,4	12,8
39	21	20,8	14,4	51,2	13,6
40	18	25,7	19,8	41,4	13,1
Yhteensä — *Total*	3 248	18,7	26,4	45,4	9,5

tumus parittomien luokkien käyttöön tukkien mittauksessa ja osin myös pystymittauksessa. Tämän virheellisen menettelyn seurauksena myös kapenemisen varianssi lisääntyi tarpeettomasti, koska se laskettiin rinnankorkeusläpimitan ja 6 m korkeudelta mitatun läpimitan erotuksena vasta atk-laskennassa. — Mitään systemaattista virhettä ei kuitenkaan syntynyt.

Kuten aiemmin on mainittu, parhaiden tukkien ominaisuuksia selvitettäessä voidaan keskittyä tyvitukkeihin, koska vain poikkeuksellisesti ylempää rungosta voidaan saada todella korkeatasoisia tukkeja. Ainoa laatuominaisuus, joka on tyvitukeissa heikompi kuin muissa tukeissa, on lenkous. Tämä ilmenee taulukosta 8, jonka mukaan tyvitukkien lenkous on yli kolminkertainen muihin tukkeihin verrattuna oksaisuuslaatuluokasta riippumatta. — Tähän tärkeään kysymykseen on kiinnitetty huomiota tiettävästi vain Pohjois-Suomessa (Mäntysahatukkien arvosuhteet. . .1956, s. 43). Ilmiön merkitys lienee lisääntymään päin viljelymetsien kasvun myötä (U u s v a a r a 1974, s. 47, H u u r i 1976). — Näyttää myös siltä, ettei lenkous ainakaan olennaisesti korjaannu puun suurenemisen myötä, pikemminkin päin vastoin. Tähän viittaa kuva 3, jossa on esitetty rungosta mitatun lenkouden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta. Samaan viittaavat männyn tyvitukkeja koskevat tulokset: lenkous on likimain sama erikokoisissa tyvitukeissa, mutta eri oksaisuuslaatuluokat poikkeavat toisistaan selvästi (kuva 4).

Syy siihen, että juuri tyvitukit ovat lenkoja, lienee erilaisissa metsätuhoissa. Männyntaimikoissa aiheuttavat ranganvaihdoksia ja sitä kautta lenkoutta hyönteisistä mm. *Evetria*-lajit ja sienistä etenkin *Melampsora*, ja myöhemmällä iällä niiden merkitys vähenee (K a n g a s 1962). Myös hirvi- ym. tuhot kohdistuvat taimikkoihin ja näkyvät siten juuri tyvitukeissa.

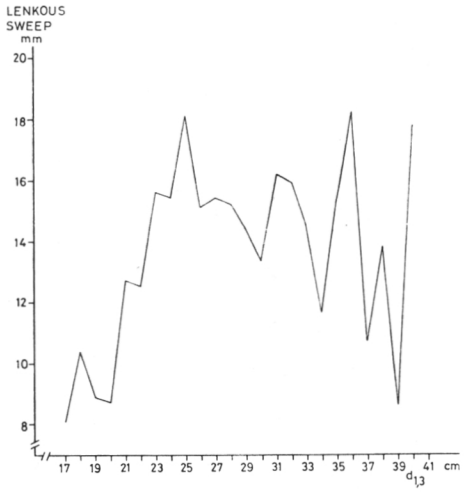
Taulukko 8. Tukin kuorettoman latvaläpimitan (d_t) ja lenkouden (c) riippuvuus tukin asemasta rungossa ja oksaisuuslaatuluokasta.

Table 8. Top diameter and sweep of the logs according to the position in the stem and knottiness class.

Tukki rungossa *Log position*	Muuttuja *Variable* [1]	*Oksaisuuslaatuluokka — Knottiness class* 1			2			3			Yhteensä — *Total* [2]		
		$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
1. *Butt log*	d_t	240	45	187	203	43	247	207	44	141	216	47	575
	c	15	15	187	17	16	247	19	15	141	17	16	575
2. *Second log*	d_t	231	30	22	205	43	109	183	37	334	191	41	470
	c	7	13	22	3	7	109	5	9	334	5	9	470
3. *Third log*	d_t	—	—	—	193	24	20	175	30	189	176	30	229
	c	—	—	—	3	8	20	6	10	189	5	10	229
4. *Fourth log*	d_t	—	—	—	—	—	—	156	9	41	157	12	60
	c	—	—	—	—	—	—	3	6	41	5	8	59

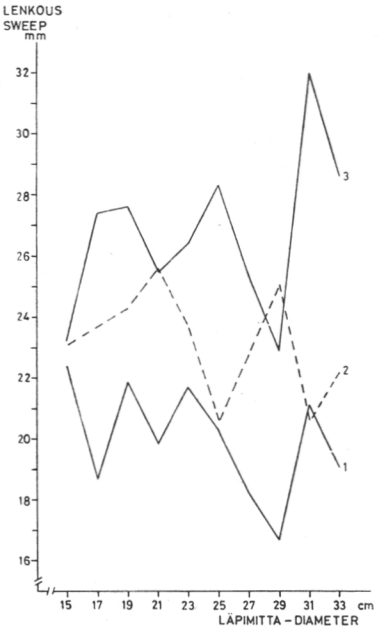
[1]) d_t = Tukin kuoreton latvaläpimitta, mm — *Top diameter under bark, mm*
c = Lenkous, mm — *Sweep, mm*

[2]) Mukana myös raakkitukit — *Includes even the unmerchantable logs*



Kuva 3. Rungon lenkous rinnankorkeusläpimitan mukaan.

Fig. 3. Sweep of stem according to the breast height diameter.



Kuva 4. Ensimmäisen (1), toisen (2) ja kolmannen (3) oksaisuuslaatuluokan tyvitukkien lenkouden riippuvuus kuorettomasta latvaläpimitasta.

Fig. 4. Sweep of butt logs of the first (1), second (2) and third (3) knottiness class according to the top diameter u.b.

Taulukossa 9 on esitetty, millaisia ovat eri oksaisuuslaatuluokkaa olevat männyn tyvitukit ja ne rungot, joista ne tulevat.

Sekä kuorellisesta latvaläpimitasta että rungon rinnankorkeusläpimitasta havaitaan, että oksaisuuslaatuluokkaa 1 olevat tukit ovat muita järeämpiä. Sitä vastoin oksaisuuslaatuluokat 2 ja 3 eivät juuri eroa toisistaan eikä ero parhaisiin tukkeihin ole itse asiassa suuri. Havainto on kuitenkin sama kaikilla alueilla: parhaat tyvitukit ovat keskimäärin muita tyvitukkeja järeämpiä.

Eri oksaisuuslaatuluokkaa olevien tukkien pituuserot ovat vähäisiä. Mitään systemaattista riippuvuutta ei voida havaita. Näin ollen tukkien korkealaatuisuus ei ilmeisesti johdu siitä, että ne tehtäisiin poikkeuksellisen lyhyiksi, toisin kuin Heiskanen (1954 a, s. 62) tutkimuksessaan arveli.

Kiintoisaa on, että tukin lenkous lisääntyy hieman oksaisuuslaatuluokan heiketessä. Tämä on merkittävä havainto, koska oksaisuuslaatuluokkaa määritettäessä ei ole otettu huomioon lenkoutta. Toisin sanoen oksaisuudella ja toisella tärkeällä vialla, lenkoudella, on positiivinen korrelaatio.

Taulukko 9. Eri oksaisuuslaatuluokkaa olevien männyn tyvitukkien ja runkojen ominaisuuksia.
Table 9. Properties of pine butt logs of various knottiness classes, and of the stems from which they originate.

Ominaisuus *Property*	Alue *District*	Oksaisuuslaatuluokka —*Knottiness class*								
		1			2			3		
		$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
Tukin kuorellinen latvaläpimitta, mm .. *Top diameter under bark, mm*	1	249	46	187	211	44	247	215	46	141
	2	247	44	226	227	50	153	214	53	180
	3	230	39	281	219	46	96	219	48	47
	4	245	45	66	226	56	181	222	48	142
	5	245	40	151	210	40	162	213	44	186
	6	227	38	116	205	38	118	212	43	336
	7	250	43	120	210	37	86	217	42	14
	Yht. — *Total*	241	43	1 147	216	47	1 043	215	46	1 046
Tukin pituus, cm *Length of log, cm*	1	486	51	187	483	54	247	495	62	141
	2	511	65	226	504	64	153	498	79	180
	3	478	64	281	467	58	96	448	67	47
	4	468	65	66	467	59	181	460	70	142
	5	444	66	151	458	66	162	472	59	186
	6	543	79	116	506	78	118	508	75	336
	7	486	69	120	481	43	86	482	31	14
	Yht. — *Total*	488	69	1 147	480	63	1 043	489	72	1 046
Tukin lenkous, mm *Sweep of log, mm*	1	15	15	187	17	16	247	19	15	141
	2	20	20	187	24	20	116	29	17	66
	3	21	15	281	23	13	96	23	12	47
	4	27	20	66	31	16	181	32	18	142
	5	19	12	151	21	13	162	22	12	186
	6	42	13	28	39	14	38	36	12	103
	7	18	19	120	25	20	86	33	18	14
	Yht. — *Total*	20	17	1 020	24	17	926	26	16	699
Rungon rinnankorkeusläpimitta, mm *Breast height diameter of stem, mm*	1	291	54	187	250	50	247	259	52	141
	2	292	53	226	268	61	153	256	61	180
	3	272	47	281	260	53	96	261	52	47
	4	291	55	66	272	66	181	270	52	142
	5	282	45	151	242	44	162	249	49	186
	6	269	46	116	237	44	118	251	49	336
	7	302	55	120	256	44	86	267	49	14
	Yht. — *Total*	284	51	1 147	255	55	1 043	256	53	1 046
Rungon kapeneminen $d_{1.3}$—d_6, mm *Taper of stem, mm*	1	49	13	187	44	13	247	46	14	141
	2	46	14	226	43	17	153	42	15	180
	3	51	16	281	50	17	96	55	13	47
	4	66	19	66	66	17	181	73	23	142
	5	54	14	151	44	13	162	46	15	186
	6	49	14	116	41	13	118	46	17	336
	7	60	16	120	52	13	86	58	15	14
	Yht. — *Total*	52	16	1 147	49	17	1 043	49	19	1 046
Etäisyys alimpaan kuivaan oksaan, cm *Distance from the ground to the lowest dead branch,* cm	1	692	251	187	427	144	245	275	106	141
	2	787	227	226	472	170	153	246	122	180
	3	786	516	249	461	222	93	287	201	46
	4	658	204	57	454	175	174	279	123	142
	5	643	205	149	327	114	162	201	76	186
	6	781	190	116	487	162	118	280	125	336
	7	843	247	120	511	141	86	329	82	14
	Yht. — *Total*	750	321	1 104	440	168	1 031	260	122	1 045

Ominaisuus *Property*	Alue *District*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*								
		1			2			3		
		$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
Etäisyys kuivan latvuksen alarajaan, cm	1	777	268	187	453	166	245	292	127	141
Distance from the ground to the lower border of the dead crown, cm	2	848	216	226	522	183	153	262	132	180
	3	876	558	205	539	260	85	409	276	46
	4	765	174	31	588	162	123	421	135	120
	5	711	202	126	470	126	161	304	97	186
	6	885	203	116	545	175	118	306	134	336
	7	911	246	120	534	166	86	336	84	14
	Yht. — *Total*	832	329	1 011	510	179	971	314	144	1 023
Etäisyys alimpaan elävään oksaan, cm ..	1	1 156	307	187	1 012	299	247	1 004	352	141
Distance from the ground to the lowest living branch, cm	2	1 118	199	226	1 039	250	153	979	288	180
	3	1 065	257	281	936	293	96	938	355	47
	4	870	227	66	775	229	181	656	218	142
	5	813	202	151	735	176	162	770	215	186
	6	1 043	243	116	964	270	118	840	336	336
	7	1 334	208	120	1 193	217	86	1 029	190	14
	Yht. — *Total*	1 072	280	1 147	934	288	1 043	856	317	1 046
Etäisyys elävän latvuksen alarajaan, cm	1	1 198	316	187	1 036	302	247	1 026	356	141
Distance from the ground to the living crown, cm	2	1 160	196	226	1 069	251	153	1 028	304	180
	3	1 147	258	281	1 024	307	96	1 015	376	47
	4	980	231	66	884	227	180	773	226	142
	5	890	188	151	825	180	162	853	220	186
	6	1 139	256	116	1 012	269	118	873	331	336
	7	1 363	199	120	1 202	215	86	1 029	190	14
	Yht. — *Total*	1 136	272	1 147	992	276	1 042	912	314	1 046
Latvussuhde alimman kuivan oksan mukaan, ‰	1	684	103	187	777	81	245	856	62	141
Crown ratio determined by the lowest dead branch, ‰	2	640	108	226	769	98	153	878	69	180
	3	604	256	249	760	105	93	849	98	46
	4	625	98	57	720	106	174	811	83	142
	5	608	123	149	798	75	162	877	50	186
	6	631	90	116	756	77	118	856	68	336
	7	635	103	120	756	69	86	833	43	14
	Yht. — *Total*	633	155	1 104	764	91	1 031	856	71	1 045
Latvussuhde kuivan latvuksen alarajan mukaan, ‰	1	648	103	187	764	86	245	848	67	141
Crown ratio determined by the lower border of dead crown, ‰	2	612	104	226	746	100	153	870	73	180
	3	565	277	205	718	123	85	786	130	46
	4	580	86	31	654	89	123	724	86	120
	5	566	115	126	710	84	161	813	63	186
	6	583	91	116	728	82	118	843	71	336
	7	607	101	120	745	75	86	830	43	14
	Yht. — *Total*	598	157	1 011	728	97	971	826	86	1 023
Latvussuhde alimman elävän oksan mukaan, ‰	1	477	106	187	485	117	247	498	132	141
Crown ratio determined by the lowest living branch, ‰	2	490	97	226	502	120	153	529	119	180
	3	460	111	281	515	122	96	517	141	47
	4	500	96	66	528	116	181	569	104	142
	5	506	117	151	551	94	162	534	113	186
	6	512	98	116	524	109	118	581	144	336
	7	422	77	120	435	79	86	481	80	14
	Yht. — *Total*	478	106	1 147	508	115	1 043	546	131	1 046

Taulukko 9. jatk. — *Table 9 cont.*

Ominaisuus *Property*	Alue *District*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*								
		1			2			3		
		$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
Latvussuhde, elävän latvuksen alarajan mukaan, ‰ *Crown ratio determined by the living crown*	1	459	105	187	474	115	247	487	132	141
	2	471	93	226	488	118	153	508	116	180
	3	417	109	281	469	127	96	476	149	47
	4	435	96	66	462	104	180	490	95	142
	5	460	106	151	496	95	162	485	112	186
	6	468	96	116	500	102	118	564	140	336
	7	412	70	120	431	78	86	481	80	14
	Yht. — *Total*	446	102	1 147	476	109	1 042	515	129	1 046

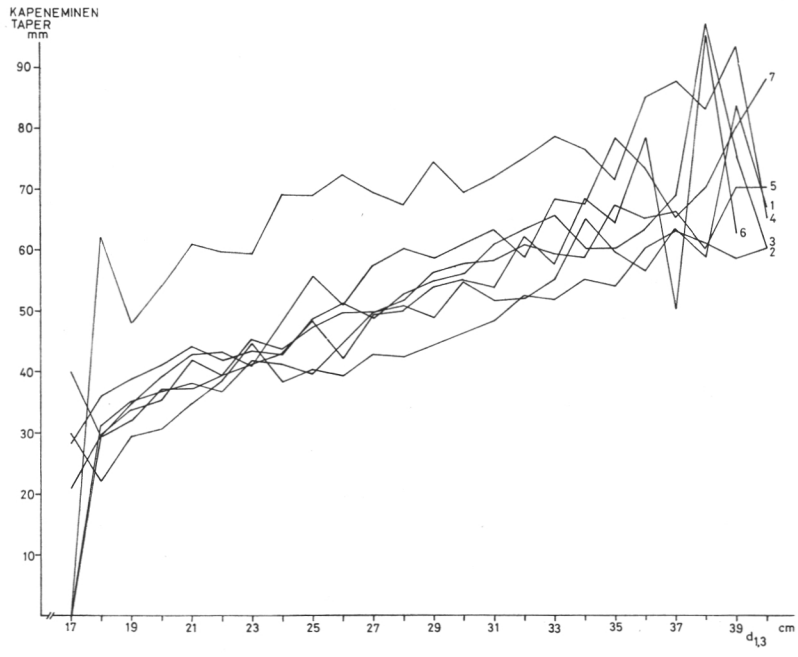
Merkittävää myös on, että tyvitukin oksaisuuslaatuluokka indikoi myös ylempää rungosta saatavien tukkien lenkoutta. Tästä voidaan esittää seuraava jaotelma, joka koskee mäntytukkeja.

Tyvitukin oksaisuuslaatuluokka	Lenkous, mm		
	Tyvitukissa	Toisessa tukissa	Kolmannessa tukissa
1	20,0	7,9	7,3
2	23,6	9,7	9,2
3	28,3	13,2	13,5

Eri alueilla on saatu taulukon 9 mukaan yleensä samanlaisia tuloksia, joskin lenkous vaihtelee paljon. Erityisesti aluetta 6 koskeva tieto poikkeaa muista olennaisesti. Tässä tapauksessa syy oli se, että lenkoushavaintoja tehtiin tällä alueella ainoastaan niistä tukeista, joissa lenkoutta oli selvästi havaittavissa. Muilla alueilla mittaukset yleensä tehtiin kaikista tukeista, jolloin keskiarvoon on vaikuttanut 0-havaintojen lukuisuus.

Yllättävä havainto oli, ettei tukin oksaisuuslaatuluokalla ja rungon kapenemisella ollut odotettua yhteyttä. Yleinen tutkimuksiin perustuva käsitys nimittäin on, että huonolaatuiset tukit saadaan muita kapenevammista rungoista (Bonsdorf 1933, s. 376, Almqvist ja Hallmans 1947, Heiskanen 1954 a, Gislerud 1974). Taulukossa 9 esitetyt tulokset eivät vahvista tätä näkemystä itse asiassa millään alueella. Päin vastoin voidaan havaita, että tukin oksaisuuslaatuluokan heiketessä rungon kapeneminen yleensä alenee. — Itse asiassa myös Heiskanen (1954 a, s. 94) päätyi tulokseen kapenemisen vähäisestä merkityksestä, koska hänen aineistossaan oli lukuisia tapauksia, jolloin kapenemisella ja laadulla ei ollut odotettua yhteyttä.

Kapenemisen ja oksaisuuslaadun heikko riippuvuus saattaa johtua hyvälaatuisten puiden järeydestä. Kun järeyden lisääntyessä kapeneminen lisääntyy, saadaan jopa positiivinen korrelaatio kapenemisen ja oksaisuuslaadun välille. — Tällainen kapenemisen riippuvuus mm. rinnankorkeusläpimitasta on havaittu useissa tutkimuksissa (Ilvessalo 1947, s. 19, Heiskanen 1954 a, s. 93), ja se voitiin todeta myös nyt.



Kuva 5. Kapeneminen $d_{1,3}$—d_6, mm, rinnankorkeusläpimitan mukaan eri alueilla.
Fig. 5. Taper $d_{1,3}$—d_6 in mm according to the breast height diameter in various districts.

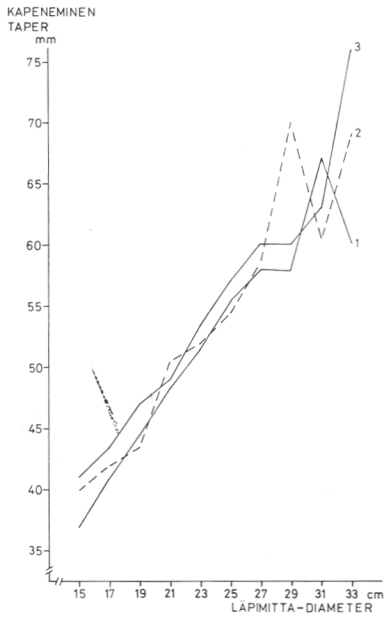
Kuvassa 5 on esitetty kapenemisen riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta eri alueilla. Alueella 4 (länsirannikko) kapenemistaso oli muita korkeammalla, mutta muuten tulokset ovat hyvin yhdenmukaisia. Keskimääräinen lineaarinen kuvaaja oli seuraava.

$$k = 0{,}33 + 0{,}1764\ d_{1,3} \qquad (r = 0{,}539)$$

k = kapeneminen $d_{1,3}$—d_6, cm
$d_{1,3}$ = rinnankorkeusläpimitta, cm

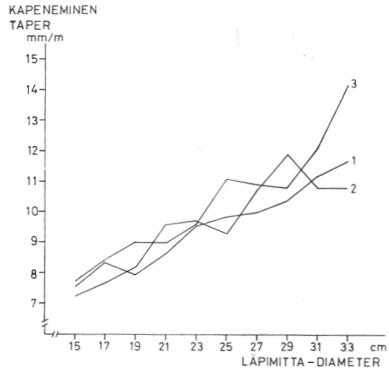
Kuvaaja on lähes sama kuin Heiskasen (1954 a, s. 93) aineistosta saatu. Ilmeistä on, että esim. oksaisuuslaatuluokkien 1 ja 3 kapenemisero selittyy täysin rinnankorkeusläpimittojen erosta. Kun luokassa 1 läpimitta oli 28,4 cm ja luokassa 3 vastaavasti 25,6 cm, kapenemiseroksi saadaan em. yhtälöllä 0,5 cm. Kun laatuluokkien kapenemisero oli tätä pienempi taulukon 9 mukaan, 0,3 cm, voidaan tuloksen tulkita lievästi tukevan käsitystä kapenemisen ja laadun negatiivisesta korrelaatiosta.

Tarkempi kuva laadun ja kapenemisen yhteydestä voidaan saada tarkastelemalla erikokoisten runkojen kapenemista laadun mukaan. Kuvassa 6 on esitetty tällainen vertailu männyn kokonaisaineistosta. Mäntyrungot jaettiin kolmeen ryhmään sen



Kuva 6. Kapeneminen $d_{1,3}$—d_6 niissä rungoissa, joista saatiin ensimmäisen (1), toisen (2) tai kolmannen (3) oksaisuuslaatuluokan tyvitukki tyvitukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 6. Taper $d_{1,3}$—d_6 of the stems from which the butt log of the first (1), second (2), or third (3) knottiness class were obtained, according to the top diameter u.b. of log.



Kuva 7. Eri oksaisuuslaatuluokkaa olevien männyn tyvitukkien latvakapeneminen kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 7. Taper from middle to top of pine butt logs of various knottiness classes according to the top diameter u.b.

mukaan, saatiinko niistä ensimmäisen, toisen vai kolmannen oksaisuuslaatuluokan tyvitukki. Tällöin voidaan kuvasta 6 havaita heikosti, että samankokoisten tyvitukkien ollessa kyseessä rungon kapeneminen on sitä suurempi, mitä huonompi oksaisuuslaatu on. Mitään käytännöllistä merkitystä heikolla riippuvuudella ei kuitenkaan voi olla. Tätä käsitystä tukevat myös P ä i v i s e n (1978, s. 13) tulokset.

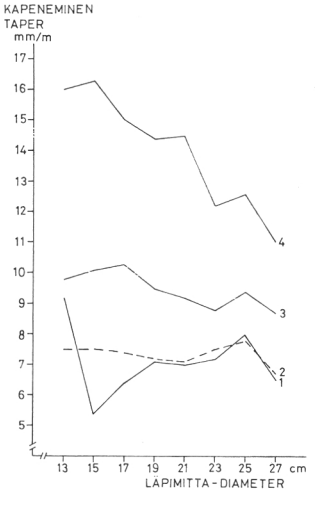
Edellä olevan perusteella on ilmeistä, ettei erilaatuisia tyvitukkeja juuri saada erilleen *rungon* kapenemisen perusteella. Mutta voidaanko *tukkien* kapenemisen ja latvaläpimitan perusteella erottaa eri laatuluokat? — Tällä kysymyksellä on suuri käytännöllinen merkitys, koska nykyaikaisilla sahoilla on yleensä automaattiset mittalaitteet, joilla voidaan todeta latvaläpimitta ja kapeneminen pituusyksikköä kohti.

Seuraavassa tarkastellaan joitakin tuloksia latvakapenemisesta, jolla tarkoitetaan pituusyksikköä kohti laskettua keskusläpimitan ja latvaläpimitan erotusta. Tässä tapauksessa kyseessä on kuorellisten mittojen mukainen kapeneminen. Tuloksia ei siis voida soveltaa ilman muuta kuorinnan jälkeen tehtäviin mittauksiin.

Kuvassa 7 on esitetty eri oksaisuusluokkaa olevien männyn tyvitukkien latvakapeneminen kuorettoman latvaläpimitan mukaan. — Joskin lievästi voidaan havaita kapenemisen lisääntyvän samassa läpimittaluokassa tukin oksaisuuslaadun heiketessä, erot ovat niin vähäisiä läpimitan vaikutukseen verrattuna, ettei kapenemista voitane ainakaan tyvitukeissa käyttää laatuluokittelun apuna. — Mahdollisesti raakkitukit, joita tyvitukeissa oli liian vähän tarkastelun pohjaksi, muodostavat kuitenkin poikkeuksen.

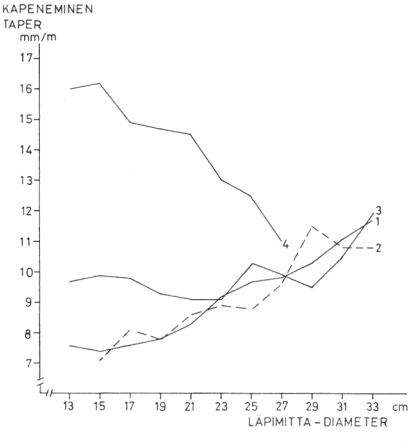
Tilanne on selvästi erilainen muissa kuin tyvitukeissa (kuva 8). Tällöin ainakin oksaisuuslaatuluokat 3 ja 4 erottuvat selvästi sekä keskenään että oksaisuuslaatuluokkien 1 ja 2 muodostamasta ryhmästä. Myös läpimitan vaikutus on vähäinen. Näin ollen lievää tukkien lajittelua oksaisuuslaadun mukaan saadaan tehdyksi jaottelemalla tukit kapenemisen mukaan.

Käytännössä tyvitukkeja ei kuitenkaan voida erottaa muista tukeista, vaan kysymystä on tarkasteltava kokonaisaineistossa. Tulokset on esitetty kuvassa 9. — Oksaisuuslaatuluokat 1, 2 ja 3 eroavat toisistaan varsin vähän, mutta raakkitukit muodostavat poikkeuksen. Kiintoisaa myös on, että läpimitan lisääntyessä kapeneminen lisääntyy eniten parhaimmissa tukeissa, sitten toisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa, vielä vähemmän kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa ja vähiten, itse asiassa



Kuva 8. Eri oksaisuuslaatuluokkaa olevien männyn muiden kuin tyvitukkien latvakapeneminen kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 8. Taper from middle to top of pine logs (excl. butt logs) of various knottiness classes according to the top diameter u.b.

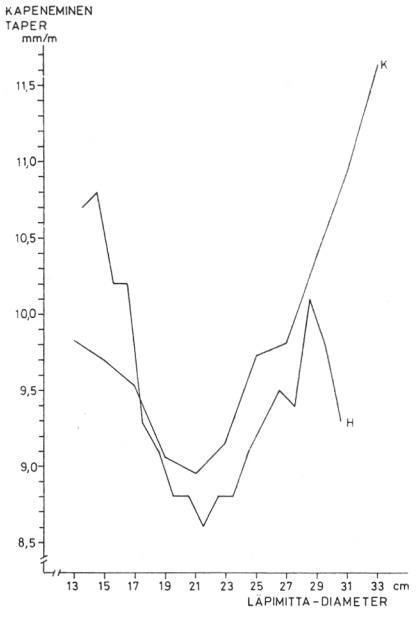


Kuva 9. Eri oksaisuuslaatuluokkaa olevien mäntytukkien latvakapeneminen kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 9. Taper from middle to top of pine logs of various knottiness classes according to the top diameter u.b.

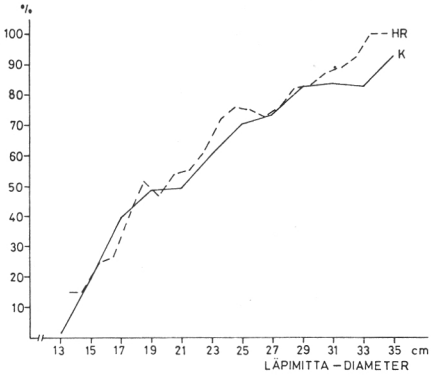
päinvastaiseen suuntaan, raakkitukeissa. Vastaavasta ilmiöstä on raportoitu myös Ruotsissa: hyvälaatuisten mäntytukkien kapeneminen lisääntyy läpimitan suuretessa, mutta huonolaatuisten alenee (Peterson 1960).

Kaiken kaikkiaan näyttää siis siltä, että kapenemisen käyttömahdollisuudet ovat ehkä aiemmista käsityksistä poiketen hyvin rajalliset tukkien jaottelussa laatuluokkiin. Tähän vaikuttaa myös se, että keskimääräiseen kapenemiseen vaikuttaa läpimitta varsin voimakkaasti. Kun tukkeja ei jaotella tyvitukkeihin ja muihin tukkeihin, pienin kapeneminen on n. 21 cm:n latvaläpimittaluokan tukeissa. Vastaavan tuloksen sai myös Heiskanen (1970). Mainitun tutkimuksen itse asiassa pienempään aineistoon perustuvat tulokset tukevat myös muutoin käsillä olevassa tutkimuksessa saatua mielikuvaa kapenemisen tasosta ja riippuvuudesta tukin latvaläpimitasta. — Tämä vertailu on esitetty kuvassa 10. — Piirroksessa on vertailututkimuksen läpimittajaotteluun lisätty 0,5 cm, koska tulokset on alkuaan kuvattu alenevaa 1 cm:n luokitusta käyttäen. Tulosten samankaltaisuus johtuu epäilemättä paljolti siitä, että tyvitukkien osuus saatiin eri läpimittaluokissa hämmästyttävässä määrin samanlaiseksi tässä jo mainitussa Heiskasen tutkimuksessa (Heiskanen 1970, Heiskanen ja Rikkonen 1971). Tämä ilmenee kuvasta 11.



Kuva 10. Mäntytukkien latvakapeneminen kuorettoman latvaläpimitan mukaan tässä (K) ja Heiskasen (1970) (H) tutkimuksessa.

Fig. 10. Taper from middle to top of pine logs according to the top diameter u.b. in this study (K) and according to Heiskanen (1970) (H).



Kuva 11. Männyn tyvitukkien osuus kuorettoman latvaläpimitan mukaan tässä (K, ehyt viiva) sekä Heiskasen ja Rikkosen (1971) (HR, katkoviiva) tutkimuksessa.

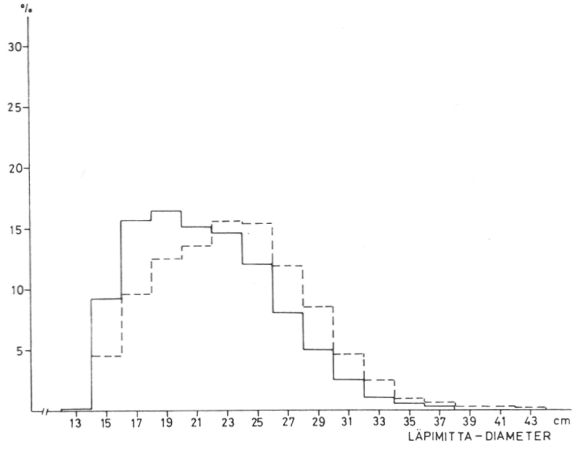
Fig. 11. Butt percentage of pine logs according to the top diameter u.b. in this study (K, solid line) and according to Heiskanen and Rikkonen (1971) (HR, broken line).

Kun kapenemista ei ilmeisesti voida käyttää tukkien lajittelussa laadun indikaattorina, jäljelle jää vielä mahdollisuus käyttää latvaläpimittaa luokitteluperusteena myös laadun osalta. Tämä mahdollisuus perustuu paljolti siihen, että tyvitukkien läpimittajakauma on selvästi erilainen kuin muiden tukkien (kuvat 12. . .14). Käsillä olevan tutkimuksen aineistossa tyypillisen tyvitukin latvaläpimitta oli 19 cm, tyypillisen latvatukin vain 15 cm. Mikäli tukkien järeys otetaan huomioon, tyypillisiä tyvitukkeja ovat 23. . .25 cm:n läpimittaiset tukit ja tyypillisiä latvatukkeja edelleen 15 cm:n tukit.

Männyn tyvitukkien jakautuminen oksaisuuslaatuluokkiin kuorettoman latvaläpimitan mukaan on esitetty kuvassa 15. — Oksaisuuslaatuluokan 1 tukkien osuus lisääntyy selvästi 29 cm:n läpimittaluokkaan saakka, jonka jälkeen alkaa voimakas lasku. Laskun vaikutusta kuitenkin kompensoi toisen oksaisuuslaatuluokan tukkien osuuden kasvu. Näyttää kuitenkin siltä, että myös ensimmäinen ja toinen oksaisuuslaatuluokka yhdessä saavuttavat maksiminsa n. 29 cm:n läpimittaluokassa, jonka jälkeen osuus pysyy lähes vakiona tai laskee.

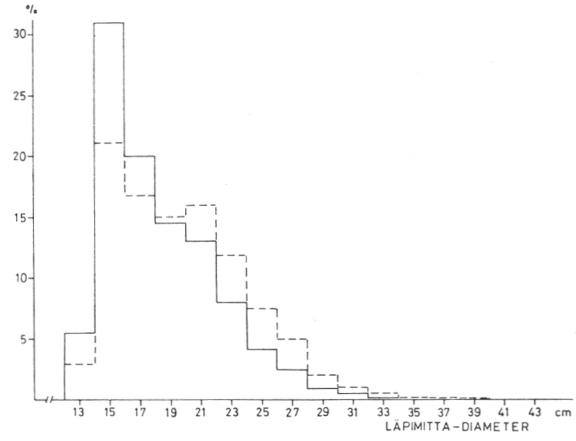
Saatu tulos on mahdollinen sikäli, että kyseessä on poikkileikkausaineisto, jolloin ei ole tarkasteltu samojen puiden kehittymistä ajan funktiona. Tuloksen voi tulkita merkitsevän sitä, että hyvin järeitä tyvitukkeja syntyy lähinnä sellaisiin puuyksilöihin, jotka ovat myös tavanomaista oksaisempia oksaisuuden ja hyvän tilavuuskasvun korreloitumisen vuoksi.

Tukea edellä esitetylle käsitykselle saadaan kuusitukkeja koskevasta tutkimuksesta, jolloin tyvitukeissa saavutettiin paraslaatuisten tukkien maksimiosuus 11″:n (28 cm) läpimittaluokassa (H e i s k a n e n 1968 a).



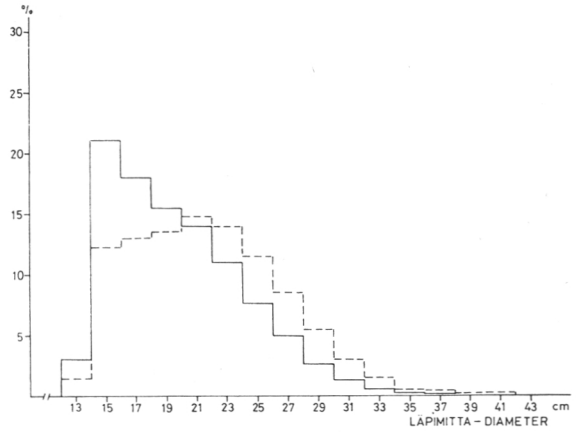
Kuva 12. Männyn tyvitukkien (n = 3253) läpimittajakauma lukumäärän (ehyt viiva) ja tilavuuden (katkoviiva) mukaan.

Fig. 12. Diameter distribution of pine butt logs (n = 3253) according to the number (solid line) and volume (broken line) of logs.



Kuva 13. Männyn muiden kuin tyvitukkien (n = 3910) läpimittajakauma lukumäärän (ehyt viiva) ja tilavuuden (katkoviiva) mukaan.

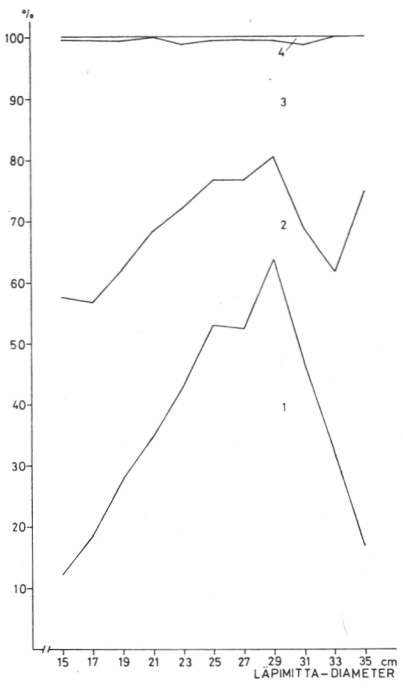
Fig. 13. Diameter distribution of pine logs excl. butt logs (n = 3910) according to the number (solid line) and volume (broken line) of logs.



Kuva 14. Mäntytukkien (n = 7163) läpimittajakauma lukumäärän (ehyt viiva) ja tilavuuden (katkoviiva) mukaan.

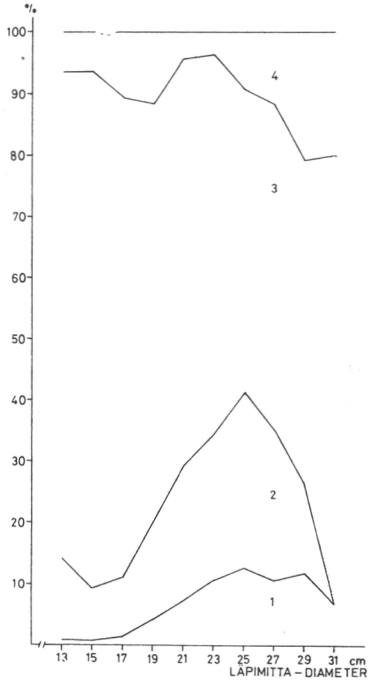
Fig. 14. Diameter distribution of pine logs according to the number (solid line) and volume (broken line) of logs.

Kuvassa 16 on esitetty vastaavat tulokset muista kuin tyvitukeista. Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkeja on vähän ja niiden maksimi saavutetaan 25. . .29 cm:n läpimittaluokissa. Ensimmäisen ja toisen oksaisuuslaatuluokan yhteinen maksimi saavutetaan 25 cm:n läpimittaluokassa. Kuvasta voidaan havaita myös raakkitukkien osuuden lisääntyminen hyvin järeisiin tukkeihin mentäessä. — Tukea kuvaajien



Kuva 15. Männyn tyvitukkien (n = 3226) laatujakauma kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 15. Quality distribution of pine butt logs (n = 3226) according to the top diameter u.b.



Kuva 16. Männyn muiden kuin tyvitukkien (n = 3900) laatujakauma kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 16. Quality distribution of pine logs excl. butt logs (n = 3900) according to the top diameter u.b.

muodolle antaa Heiskasen (1968 a) kuusitukkeja koskeva tutkimus, jossa paraslaatuisten tukkien maksimi tosin saavutettiin hieman suuremmissa läpimittaluokissa.

Kun tyvitukkeja ja muita tukkeja tarkastellaan yhdessä, saadaan kuvassa 17 esitetyt tulokset. Kuvassa on vertailun vuoksi myös Heiskasen (1970) tulokset, jotka erityisesti ensimmäisen ja toisen oksaisuuslaatuluokan yhteisen kuvaajan osalta tukevat käsillä olevassa tutkimuksessa saatua tulosta. Hyvin suurten tukkien laadun heikkenemistä ei vertailututkimuksessa tosin voida havaita, mutta ilmeisesti syynä on vain se, ettei aineistoon sisältynyt riittävästi suuria tukkeja. — Kaikissa edellä tarkastelluissa tapauksissa otettiin huomioon vain ne läpimittaluokat, joista oli käytettävissä vähintään kymmenen havaintoa.

Erona Heiskasen tuloksiin on lähinnä se, että ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien osuus kasvaa läpimitan funktiona nopeammin kuin vertailututkimuksessa. Osittain ilmiö saattaa johtua siitä, että ensimmäisen ja toisen oksaisuuslaatuluokan välinen raja on käytännössä liukuva, koska tukit yleensä arvioidaan eikä mitata.

Kyseessä saattaa olla myös tukkien erilaisesta valikoitumisesta johtuva tulos. — Joka tapauksessa tulokset ovat siinä määrin yhdenmukaisia, että niiden perusteella voidaan hahmotella mäntytukkien keskimääräisen oksaisuuslaadun muuttumista pelkän läpimitan funktiona. Käytännössä on merkittävintä, että ensimmäisen ja toisen oksaisuuslaatuluokan osuus kasvaa pienten tukkien 15. . .25 prosentista suurten tukkien 60. . .70 prosenttiin, kun ylisuuria tukkeja ei oteta huomioon.

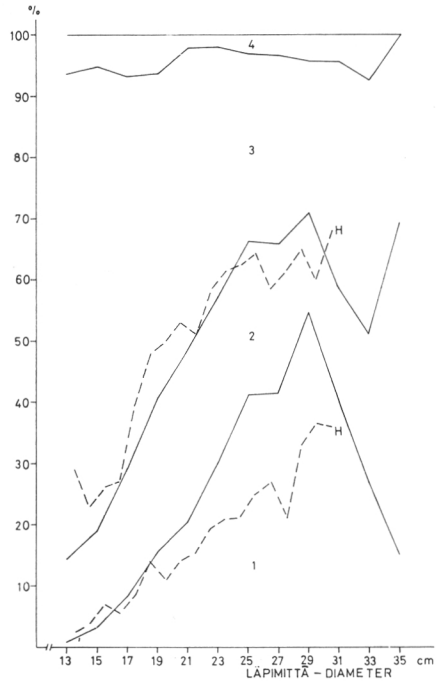
Edellä on laatua tarkasteltu ottamatta huomioon objektiivisesti mitattavissa olevia oksaisuustekijöitä. Tärkeimmät niistä on mainittu taulukossa 9 alueittain sekä kokonaisaineistossa.

Taulukon mukaan on etäisyys alimpaan kuivaan oksaan hyvä tunnus eroteltaessa eri oksaisuuslaatuluokkiin joutuvia tukkeja: kolmannen oksaisuuslaatuluokan tyvitukit on saatu sellaisista rungoista, joissa etäisyys alimpaan kuivaan oksaan oli vain kolmasosa siitä, mitä ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa. Aivan yhtä suuri ero ei ole silloin, kun tarkastellaan etäisyyttä kuivan latvuksen alarajaan. Kuitenkin myös tämä tunnus poikkeaa eri oksaisuuslaatuluokkiin kuuluvissa tukeissa toisistaan selvästi. Nämä johtopäätökset voidaan tehdä kaikilla alueilla, joskin selviä alueiden välisiä eroja on havaittavissa. Osittain erot saattavat johtua tutkimusohjeiden erilaisesta tulkinnasta. Esimerkiksi alueilla 3 ja 4 etäisyys kuivan latvuksen alarajaan mitattiin pääasiassa vain silloin, kun se poikkesi etäisyydestä alimpaan kuivaan oksaan. Tämä voidaan havaita siitä, että havaintojen lukumäärä on erilainen tarkasteltaessa etäisyyttä alimpaan kuivaan oksaan ja kuivan latvuksen alarajaan. — Myös muilla alueilla on jossakin määrin puuttuvia tietoja, jotka ovat saattaneet vaikuttaa hieman tuloksiin. Mistään olennaisesta vaikutuksesta ei kuitenkaan voi olla kyse.

Sitä vastoin on hämmästyttävää, kuinka vähän pystypuussa mitattu etäisyys alimpaan elävään oksaan tai etäisyys elävän latvuksen alarajaan riippuu tyvitukin oksaisuuslaatuluokasta. Keskimäärin eroja on, mutta ne ovat merkityksettömät kuivia oksia koskeviin tunnuksiin verrattuna. Näyttääkin siltä, ettei etäisyys alimpaan elävään oksaan tai elävän latvuksen alarajaan voi olla sellainen tunnus, joka olennaisesti auttaa tyvitukin oksaisuuslaatuluokan arvioinnissa.

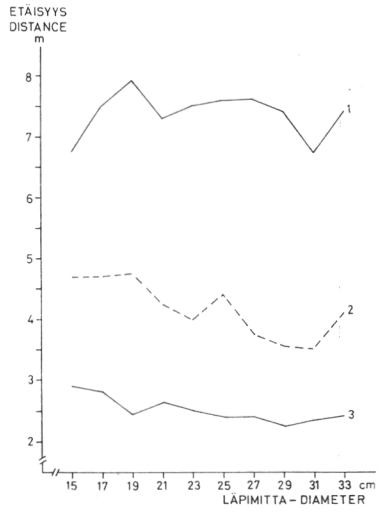
Vastaavat johtopäätökset voidaan tehdä em. oksaisuustunnusten perusteella lasketuista latvussuhteista. Jos latvussuhde määriteltiin alimman kuivan oksan tai kuivan latvuksen alarajan perusteella, latvussuhteet poikkesivat toisistaan verraten selvästi eri oksaisuuslaatuluokissa. Sitä vastoin jos latvussuhteet laskettiin elävien oksien perusteella, oksaisuuslaatuluokat poikkesivat toisistaan vain vähän.

Sovellutusten kannalta on kiintoisaa, että etäisyys alimpaan kuivaan oksaan on likimain sama erilaisissa rungoissa, jos niistä saatiin samaan oksaisuuslaatuluokkaan kuuluva tyvitukki. Itse asiassa heikkolaatuisissa rungoissa etäisyys jopa aleni puun (ja tyvitukin latvaläpimitan) suuretessa (kuva 18). Toisaalta etäisyystunnus erotteli tehokkaasti erilaatuiset tyvitukit, kuten kuvasta ilmenee. Selvää on, että tällaisesta vakioisuudesta on hyötyä käytettäessä sitä tukkien laadun ennustamiseen. — Kuten aiemmin on esitetty (kuva 1), eri oksaisuuslaatuluokkia erottelematta etäisyys alimpaan



Kuva 17. Mäntytukkien (n = 7149) laatujakauma kuorettoman latvaläpimitan mukaan. Vertailuna Heiskasen (1976) (H) tutkimus.

Fig. 17. Quality distribution of pine logs (n = 7149) according to the top diameter u.b. and comparison with Heiskanen (1979) (H).



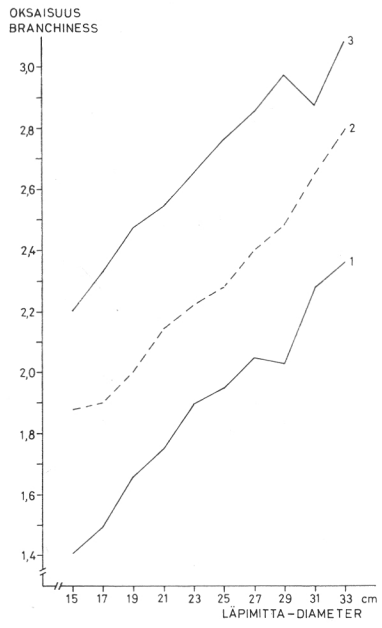
Kuva 18. Etäisyys alimpaan kuivaan oksaan niissä mäntyrungoissa, joista saatiin ensimmäisen (1), toisen (2) tai kolmannen (3) oksaisuuslaatuluokan tyvitukki tyvitukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 18. Distance from the ground to the lowest dead branch in the pine stems from which the butt log of the first (1), second (2), or third (3) knottiness class were obtained, according to the top diameter u.b. of log.

kuivaan oksaan kasvaa hitaasti rinnankorkeusläpimitan kasvaessa. — Tämä väittämä, kuten muutkin vastaavat väittämät, tarkoittavat aineiston poikkileikkausta samana ajankohtana. Jos tarkasteltaisiin tiettyjen puuyksilöiden kehittymistä ajan funktiona, muutos olisi ilmeisesti jyrkempi.

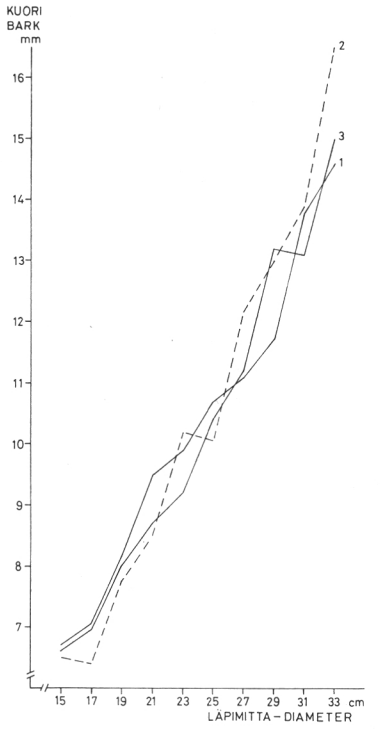
Edellisestä poiketen mm. metsäalan työehtosopimuksen mukainen oksaisuusluokka osoittautui huonoksi: suurten puiden oksaisuusluokka oli suurempi kuin pienten, vaikka erikokoisista puista olisi saatu samanlaatuinen tyvitukki. Tunnus oli kuitenkin sikäli hyvä, että se erotteli samankokoisissa puissa erilaiset tyvitukit (kuva 19). Ilman tietoa puiden järeydestä metsäalan työehtosopimuksen mukainen oksaisuusluokka ei siis kuitenkaan auta tyvitukin laadun ennustamisessa, kuten kuvasta 19 ilmenee.

Mainittakoon tässä yhteydessä, ettei kuoren paksuus juuri riippunut tyvitukin laadusta, vaan ainoastaan läpimitasta (kuva 20). Näin ollen edellä esitetyt tulokset voidaan yleistää myös kuoren päältä mitattuja läpimittoja koskeviksi. — Sitä vastoin on selvää, että tarkasteltaessa tyvitukkeja ja muita tukkeja yhdessä, samassa läpimittaluokassa on I oksaisuuslaatuluokan tukkien kuoren paksuus olennaisesti suu-



Kuva 19. Niiden runkojen metsäalan työehtosopimuksen mukainen oksaisuusluokka, joista saatiin ensimmäisen (1), toisen (2) tai kolmannen (3) oksaisuuslaatuluokan tyvitukki tyvitukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 19. Branchiness class of the stems of which the butt log of the first (1), second (2), or third (3) knottiness class were obtained, according to the top diameter u.b. of log.



Kuva 20. Ensimmäisen (1), toisen (2) ja kolmannen (3) oksaisuuslaatuluokan tyvitukkien kaksinkertaisen latvakuoren paksuuden riippuvuus kuorettomasta latvaläpimitasta.

Fig. 20. Double bark thickness of butt logs of the first (1), second (2) and third (3) knottiness class according to the top diameter u.b.

rempi kuin muissa oksaisuuslaatuluokissa, koska parhaat tukit ovat valtaosaltaan tyvitukkeja ja muut oksaisuuslaatuluokat taas muita kuin tyvitukkeja (esim. Heiskanen ja Rikkonen 1976, s. 16).

Kuusisahatukkien osalta vastaavaa tarkastelua ei tehdä alueittain, koska havaintoja on niukalti. Kuusen kokonaisaineistoa koskevat tulokset on esitetty taulukossa 10.

Kuusella hyvä tyvitukin laatu liittyy suhteellisen pieniin runkoihin. Tämä voidaan havaita sekä kuorellisen latvaläpimitan että rinnankorkeusläpimitan perusteella. Itse asiassa taulukosta 10 havaitaan, että tutkitussa aineistossa järeimmät rungot liittyvät oksaisuuslaatuluokkaan 3. Tulos on kuitenkin ymmärrettävä, vaikka se onkin päinvastainen mäntyyn nähden: kuusella karsiutuminen on vähäistä, ja kuusen hyvä kasvu sekä siitä seuraava järeys liittyvät välttämättä suureen oksamassaan.

Taulukko 10. Eri oksaisuuslaatuluokkaa olevien kuusen tyvitukkien ja runkojen ominaisuuksia. *Table 10. Properties of spruce butt logs of various knottiness classes, and of the stems from which they originate.*

Ominaisuus *Property*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*								
	1			2			3		
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
Kuorellinen latvaläpimitta, mm — *Top diameter over bark, mm*	231	38	25	232	54	80	244	55	44
Pituus, cm — *Length, cm*	485	47	25	481	63	80	490	60	44
Lenkous, mm — *Sweep, mm*	11	11	23	13	14	72	18	16	42
Rungon rinnankorkeusläpimitta, mm — *Breast height diameter of stem, mm*	261	43	25	267	67	81	288	56	45
Rungon kapeneminen $d_{1,3}$—d_6, mm — *Taper of stem, mm*	40	12	25	47	22	81	53	13	45
Etäisyys alimpaan kuivaan oksaan, cm — *Distance to the lowest dead branch, cm*	281	160	16	166	115	56	136	87	39
Etäisyys kuivan latvuksen alarajaan, cm — *Distance to the lower border of the dead crown, cm*	300	152	14	185	147	47	140	90	37
Etäisyys alimpaan elävään oksaan, cm — *Distance to the lowest living branch, cm*	416	227	25	304	338	81	238	111	45
Etäisyys elävään latvukseen, cm — *Distance to the living crown, cm*	468	248	25	365	351	81	251	118	45
Latvussuhde alimman kuivan oksan mukaan, ‰ — *Crown ratio determined by the lowest dead branch, ‰*	861	79	16	912	63	56	928	47	39
Latvussuhde kuivan latvuksen alarajan mukaan, ‰ — *Crown ratio determined by the dead crown, ‰*	849	81	14	902	80	47	926	48	37
Latvussuhde alimman elävän oksan mukaan, ‰ — *Crown ratio determined by the lowest living branch, ‰*	795	116	25	839	198	81	874	56	45
Latvussuhde elävän latvuksen alarajan mukaan, ‰ — *Crown ratio determined by the living crown, ‰*	769	127	25	805	205	81	866	59	45
Yli 20 mm oksia 150 dm kohti, kpl [1]) — *No. of branches, over 20 mm in size per length 150 dm*	44	40	23	76	58	79	140	69	45
Latvuksen suurin leveys, cm — *Greatest width of crown, cm*	452	135	25	435	192	80	553	176	45

[1]) Määriteltynä 15 dm oksaisimmasta osasta — *Determined from the part of the stem with the greatest branchiness*

Heiskasen (1968 a) tulokset tukevat osittain tätä käsitystä: hänen laajassa aineistossaan paras laatu oli keskikokoisissa tyvitukeissa.

Lenkoudesta voidaan tehdä sama johtopäätös kuin männyllä: oksaisuuslaatuluokan heiketessä lenkous lisääntyy. Männystä poiketen kapeneminen lisääntyy selvästi laadun heiketessä.

Eri oksaisuustunnukset ovat varsin heikosti käyttökelpoisia, koska kuuset ovat parhaimmillaankin varsin oksikkaita. Tulokset ovat kuitenkin johdonmukaisia: etäisyys alimpaan kuivaan oksaan alenee tukin laadun heikentyessä. Samoin se alenee, kun etäisyysmittarina on kuivan latvuksen alaraja, etäisyys alimpaan elävään oksaan tai etäisyys elävän latvuksen alarajaan. Sama asia voidaan sanoa myös niin, että latvussuhde on sitä suurempi, mitä huonompi on tyvitukin oksaisuuslaatuluokka.

Kuten aineiston selostamisen yhteydessä mainittiin, kuusesta mitattiin pari oksaisuustunnusta, joita ei mitattu mäntyrungoista. Ne on esitetty taulukon 10 kahdella alimmalla rivillä. — Niiden mukaan oksaisimmalta 15 dm matkalta luettujen oksien lukumäärä lisääntyy selvästi tyvitukin oksaisuuslaatuluokan heiketessä. Tämä tunnus näyttää olevan käyttökelpoinen luokittelussa, joskin se on hankala käyttää. Sitä vastoin latvuksen suurin leveys projektiona mitaten erottelee vain oksaisuuslaatuluokan 3 tyvitukit muista tukeista.

Kuusen osalta enempää tarkastelua ei suoriteta aineiston vähäisyyden vuoksi.

33. Yksittäisten runkojen korrelaatioanalyysi

Kuten aineiston selostamisen yhteydessä mainittiin, jokaisesta rungosta mitattiin joukko tekijöitä, joiden oletettiin korreloituvan rungosta saatavien tukkien laatuun. Eri muuttujien väliset korrelaatiokertoimet laskettiin alueittain mahdollisten riippuvuuserojen selvittämiseksi.

Ennen kuin selostetaan eri oksaisuuslaatuluokkien tilavuusosuuksiin vaikuttavia tekijöitä, on paikallaan tarkastella aineiston rakennetta muihin tutkimuksiin verrattuna. Lähinnnä on käytettävissä Hakkilan (1971) tutkimus, joka mäntyrunkojen osalta pohjautuu 240 havaintoon.

Viitteitä riippuvuussuhteiden samankaltaisuudesta voidaan saada tarkastelemalla latvussuhteen korrelaatiota muiden tekijöiden kanssa. Mainitussa tutkimuksessa latvussuhteella tarkoitettiin elävän latvuksen osuutta koko puun pituudesta, ja tämä tunnus on saatavissa myös käsillä olevan tutkimuksen mittauksista (latvussuhde e.l.a.). — Vertailu muodostui seuraavaksi.

Muuttuja	Korrelaatiokerroin × 1000 Alue 1	2	3	4	5	6	7	Yht.	Hakkila 1971
Ikä	—177	—266	—308	236	44	—422	—171	—168	—108
Pituus	—360	69	—133	— 30	89	—430	—172	—123	—131
Rinnankorkeusläpimitta	171	328	225	235	329	302	130	209	207
Tilavuus [1]	35	216	58	84	222	64	94	75	147
Oksaisuusluokka	539	500	525	459	517	663	482	547	718
Etäisyys elävän latvuksen alarajaan	—882	—830	—862	—684	—821	—945	—824	—802	—804

[1]) Tässä tutkimuksessa tukkiosan tilavuus, Hakkilan (1971) tutkimuksessa koko rungon.

Jaotelman mukaan käsillä olevan tutkimuksen keskimääräiset korrelaatiot ovat hämmästyttävän yhdenmukaisia Hakkilan (1971) tulosten kanssa. Keskimääräistä riippuvuusrakennetta voi siis pitää samankaltaisena. Myös alueiden väliset erot olivat eräissä tapauksissa pienet. Niinpä erityisesti korrelaatio metsäalan työehtosopimuksen mukaisen oksaisuusluokan kanssa sekä korrelaatio oksaisuuden etäisyystunnuksen kanssa oli likimain sama eri alueilla.

Toisaalta eräät korrelaatiot antavat viitteitä alueiden eroista. Latvussuhde korreloi yleensä negatiivisesti iän kanssa, ts. oli sitä alhaisempi, mitä vanhemmasta puustosta oli kyse. Tämä johtuu luonnollisesti karsiutumisesta. Poikkeuksena olivat kuitenkin länsirannikko (alue 4) ja Pohjois-Suomi (alue 5), joiden männyillä oli positiivinen korrelaatio. Tulos voi johtua sattumasta, mutta saattaa myös viitata eräisiin rannikkomäntyjen ja pohjoissuomalaisten mäntyjen yhteisiin piirteisiin.

Kun tarkastelun kohteena oli ensimmäistä oksaisuuslaatuluokkaa olevien tukkien tilavuusosuuden korrelaatio eri selittäjien kanssa, saatiin seuraavat tulokset. Tällöin otettiin kultakin alueelta huomioon neljä parasta korrelaatiokerrointa. — Jaotelmissa latvussuhde k.l.a. on laskettu kuivan latvuksen alarajan mukaan ja latvussuhde a.k.o. alimman kuivan oksan mukaan, d on rinnankorkeusläpimitta ja h on pituus.

Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuuden suurimmat korrelaatiokertoimet eri alueilla

Alue	Korrelaatiokertoimet	
1	Kuivan latvuksen alaraja	0,647
	Alin kuiva oksa	0,642
	Latvussuhde k.l.a.	—0,612
	Latvussuhde a.k.o.	—0,578
2	Kuivan latvuksen alaraja	0,743
	Alin kuiva oksa	0,738
	Latvussuhde k.l.a.	—0,711
	Latvussuhde a.k.o.	—0,703
3	Latvussuhde a.k.o.	—0,366
	Alin kuiva oksa	0,353
	Kuivan latvuksen alaraja	0,314
	Latvussuhde k.l.a.	—0,311
4	Alin kuiva oksa	0,412
	Latvussuhde a.k.o.	—0,363
	Kuivan latvuksen alaraja	0,260
	Latvussuhde k.l.a.	—0,209
5	Latvussuhde a.k.o.	—0,777
	Alin kuiva oksa	0,761
	Latvussuhde k.l.a.	—0,618
	Kuivan latvuksen alaraja	0,605
6	Kuivan latvuksen alaraja	0,716
	Latvussuhde k.l.a.	—0,710
	Alin kuiva oksa	0,705
	Latvussuhde a.k.o.	—0,693
7	Kuivan latvuksen alaraja	0,751
	Alin kuiva oksa	0,747
	Latvussuhde k.l.a.	—0,721
	Latvussuhde a.k.o.	—0,702
Yhteensä	Alin kuiva oksa	0,616
	Latvussuhde a.k.o.	—0,596
	Kuivan latvuksen alaraja	0,590
	Latvussuhde k.l.a.	—0,556

Jaotelmasta havaitaan, että ensimmäistä oksaisuuslaatuluokkaa olevien tukkien tilavuuden osuutta rungon tukkiosan tilavuudesta selittävät parhaiten yleensä oksaisuustunnukset. Kiintoisaa on, että oksien jollakin tavalla määritelty etäisyys maasta on yleensä parempi selittäjä kuin latvussuhde, joka on mitattu vastaavasta kohdasta. Ainoastaan alueilla 3 ja 5 ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuuden ja latvussuhteen välinen korrelaatio oli suurempi kuin vastaavan maasta lasketun etäisyystunnuksen. Ero ei ollut suuri kummallakaan alueella. Kaikissa muissa tapauksissa etäisyys maasta korreloi paremmin ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuuden kanssa.

Vaikka erot latvussuhdetunnusten ja etäisyystunnusten välillä ovatkin pienet, näyttää siltä, että käytännön arviointitoiminnassa kannattaa käyttää mieluummin maasta mitattua etäisyyttä kuin latvussuhdetta tai siitä yksikäsitteisesti johdettavissa olevaa oksattoman osan suhteellista pituutta.[1]) — Esimerkkinä voidaan tarkastella 10 tai 30 m pituista puuta. Jos latvussuhde on 70 %, ensimmäisessä tapauksessa oksatonta puuta on vain 3 m, mutta jälkimmäisessä tapauksessa peräti 9 metriä. Edellisessä tapauksessa ensimmäistä oksaisuuslaatuluokkaa olevia tukkeja ei saada lainkaan, mutta jälkimmäisessä tapauksessa runsaasti. — Esimerkki viittaa siihen, että suhteellisia pituustunnuksia käytettäessä virheellisyyksiä saattaa syntyä nimenomaan lyhytkasvuisten puiden kasvupaikoilla (suot ym.).

Merkittävää on, ettei ainoallakaan alueella neljän parhaan korrelaatiokertoimen joukkoon mahtunut elävän latvuksen tai alimman elävän oksan perusteella määritelty etäisyys tai vastaava latvussuhde. Tulos osoittaa vääjäämättömästi sen, ettei olennaista ole tukkien laadun kannalta oksien kuoleminen, vaan niiden karsiutuminen. Tämä tulos on triviaali siinä mielessä, että sahatavaran ja myös sahatukkien laatuluokituksessa suhtaudutaan kuiviin oksiin ankarammin kuin eläviin oksiin. Toisaalta kuivien oksien merkittävyys tässä yhteydessä selittynee osaksi sillä, että kuivien oksien karsiutuminen tai karsiutumattomuus kertoo melkoisesti myös niiden paksuudesta. Tähän on myös Heiskanen (1959 a, s. 86) kiinnittänyt huomiota. Selvää nimittäin on, että ohuet oksat karsiutuvat pois nopeammin ja täydellisemmin kuin paksut kuivat oksat, jotka ovat erityisen haitallisia sahatavaran laatua ajatellen.

Ruotsissa on saatu etäisyys alimpaan kuivaan oksaan käyttökelpoiseksi mittariksi sekä runkojen (Orvér 1973, Dahlen ja Warg 1978) että tukkien (Orvér 1970 a, s. 21, 36) luokituksessa, jälkimmäisessä tosin siten, että etäisyys kuivaan oksaan tukin tyvipäästä lukien jaettiin sen paksuudella. Näin tuli otetuksi huomioon samanaikaisesti myös oksien paksuus. — Tämä menettelytapa tulee tuskin kyseeseen runkojen laadun arvioinnissa, koska oksien paksuutta ei voi helposti mitata ennen puiden kaatamista.

[1]) Korrelaatiokertoimen ominaisuuksista johtuu, että latvussuhteen ja ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan osuuden korrelaatio on täsmälleen sama kuin suhteellisen oksattoman osan pituuden ja ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan välinen korrelaatio.

Kuivat oksat olivat niin tärkeitä eläviin oksiin verrattuna kaikilla alueilla, että kannattaa pohtia niiden käytännöllistä merkitystä laadun arvioinnissa. Voidaan nimittäin esittää epäilys, että laatuluokitustavan tunteva myyjä poistaa helposti karsittavat kuivat oksat rungoista halutessaan paremman hinnan. Tätä vaaraa ei kuitenkaan ole pidettävä olennaisen suurena. Kuivat oksat näkyvät sangen hyvin myös karsimisen jälkeen, mikäli ne eivät ole kyljestyneet. Talvella voinee kuitenkin tulla vaikeuksia huurteen ja lumen vuoksi. Jos taas kuivat oksat on karsittu niin kauan sitten, että ne ovat kyljestyneet, mitään olennaista vahinkoa ei voine tapahtua: kyljestyneitä oksia sisältävistä rungoista saadaan toki parempaa sahatavaraa kuin oksaisista rungoista.

Eri alueita vertaamalla ei saada vastausta kysymykseen, pitäisikö etäisyys maasta mitata alimpaan kuivaan oksaan vai kuivan latvuksen rajaan. Useimmilla alueilla kuivan latvuksen alaraja osoittautui paremmaksi tunnukseksi, mutta kokonaisaineistossa, jossa alueita ei eroteltu, alin kuiva oksa oli hieman parempi. Ilmeisesti olennaista eroa ei ole. — Vaikuttaa kuitenkin mahdolliselta, että pyrittäessä välttämään runkojen ylihinnoittelua maksimivirhettä pienentää se, että raja määritetään alimman kuivan oksan perusteella. Tällöin eliminoituvat virheiden joukosta ainakin ne tapaukset, jolloin poikaoksa tai siihen verrattava paksu oksa on yksittäisenä jäänyt suhteellisen alas runkoon aiheuttaen tukin apteerauksen tavanomaista lyhyemmäksi ja vähäarvoisemmaksi. Toisaalta kuivan latvuksen alarajan käyttämistä puoltaa se, että yksittäiset oksat voivat pilata vain vähäisen osan sahatavarasta, kun taas lukuisat kuivat oksat armottomasti alentavat kaikkien sahatavarakappaleiden laatuluokkaa. Epämääräisyyttä kuitenkin lisää kuivan latvuksen käsite: on usein tapauksia, että elävän latvuksen alapuolella on vain yksittäisiä, satunnaisia kuivia oksia, jotka eivät muodosta mitään selvää vyöhykettä.

Kiintoisaa myös on, että heikoimmat korrelaatiot saatiin Varsinais-Suomessa ja läntisellä rannikkoalueella (alueet 3 ja 4). Näyttää siltä, että näillä alueilla on vaikeampaa ennustaa ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuutta kuin muualla.

Jos ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuuden sijasta tarkastellaan ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan runkoa kohti tulevien tukkien yhteistilavuutta, tulokset eivät olennaisesti muutu. Tämä ilmenee seuraavasta jaotelmasta, jossa on samalla tavoin kuin edellä esitetty neljä suurinta korrelaatiokerrointa kullakin alueella.

Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuuden suurimmat korrelaatiokertoimet eri alueilla

Alue	Korrelaatiokertoimet	
1	Kuivan latvuksen alaraja	0,676
	Alin kuiva oksa	0,645
	Tukkiosan tilavuus	0,620
	dh	0,583
2	Kuivan latvuksen alaraja	0,659
	Alin kuiva oksa	0,652
	Tukkiosan tilavuus	0,556
	Latvussuhde k.l.a.	—0,543

Alue	Korrelaatiokertoimet	
3	Tukkiosan tilavuus	0,530
	Rinnankorkeusläpimitta d	0,472
	d^2	0,464
	d^2h	0,455
	(alin kuiva oksa	0,334)
4	Alin kuiva oksa	0,465
	Latvussuhde a.k.o.	—0,351
	Kuivan latvuksen alaraja	0,307
	dh	0,268
5	Alin kuiva oksa	0,772
	Latvussuhde a.k.o.	—0,708
	Kuivan latvuksen alaraja	0,623
	Latvussuhde k.l.a.	—0,564
6	Kuivan latvuksen alaraja	0,702
	Alin kuiva oksa	0,675
	Latvussuhde k.l.a.	—0,632
	Latvussuhde a.k.o.	—0,598
7	Kuivan latvuksen alaraja	0,722
	Tukkiosan tilavuus	0,713
	d^2h	0,701
	dh	0,700
Yhteensä	Alin kuiva oksa	0,602
	Kuivan latvuksen alaraja	0,583
	Tukkiosan tilavuus	0,535
	Latvussuhde a.k.o.	—0,498

Jaotelman mukaan ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien yhteistilavuutta selittävät parhaiten samat oksaisuustunnukset kuin myös suhteellista osuutta selittävät muuttujat. Ainoastaan alueella 3 on tukkiosan tilavuus parempi selittäjä. Voidaan kuitenkin havaita, että oksaisuustunnusten lisäksi vaikuttaa myös rungon tukkiosan tilavuus, jota kuvaavat myös rinnankorkeusläpimitta, sen neliö, rinnankorkeusläpimitta tai sen neliö kerrottuna pituudella jne. Ratkaisevassa asemassa näyttävät kuitenkin olevan oksaisuustunnukset.

Myös tässä tapauksessa heikoimmat korrelaatiot olivat Varsinais-Suomessa ja länsirannikolla, joskin ne olivat korkeammat kuin tarkasteltaessa ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuutta.

Kiintoisaa on, että kaikilla alueilla latvussuhde oli vähemmän merkitsevä kuin vastaava etäisyystunnus. Myös tämä tukee ajatusta, että käytännössä kannattaa mieluummin mitata etäisyys alimpaan kuivaan oksaan tai kuivan latvuksen alarajalle kuin laskea sitä vastaava latvustunnus tai samamerkityksinen suhteellinen oksattoman osan pituus.

Edellä esitettyjä jaotelmia vertaamalla voidaan päätellä, että käytännössä saadaan likimain samanlainen tulos, tarkasteltiinpa sitten ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuutta tai niiden absoluuttista tilavuutta. Kummassakin tapauk-

sessa ratkaisevin merkitys on oksaisuustunnuksilla. Erona on kuitenkin se, että parasta oksaisuuslaatuluokkaa olevien tukkien tilavuutta maksimoitaessa huomiota joudutaan kiinnittämään myös runkojen kokoon, toisin kuin parasta oksaisuuslaatuluokkaa olevien tukkien tilavuusosuutta maksimoitaessa.

Edellä on tarkasteltu pelkästään oksaisuuslaatuluokitukseen perustuvaa tukkien laadun arviointia. Mikäli huomioon otetaan myös muut tekijät kuin oksaisuus, tulokset eivät kuitenkaan olennaisesti muutu. Tämä ilmenee seuraavista jaotelmista, joissa ensimmäisessä on esitetty ensimmäistä laatuluokkaa olevien tukkien tilavuusosuuden suurimmat korrelaatiokertoimet eri alueilla. Jälkimmäisessä jaotelmassa on vastaavasti esitetty ensimmäistä laatuluokkaa olevien tukkien tilavuuden suurimmat korrelaatiokertoimet alueittain.

Ensimmäisen laatuluokan tukkien tilavuusosuuden suurimmat korrelaatiokertoimet eri alueilla

Alue	Korrelaatiokertoimet	
1	Alin kuiva oksa	0,545
	Kuivan latvuksen alaraja	0,540
	Latvussuhde k.l.a.	—0,521
	Latvussuhde a.k.o.	—0,499
2	Alin kuiva oksa	0,615
	Kuivan latvuksen alaraja	0,611
	Latvussuhde a.k.o.	—0,582
	Latvussuhde k.l.a.	—0,581
3	Rungon lenkous	—0,289
	Alin kuiva oksa	0,223
	Latvussuhde a.k.o.	—0,201
	Kuivan latvuksen alaraja	0,180
4	Alin kuiva oksa	0,352
	Latvussuhde a.k.o.	—0,246
	Elävän latvuksen alaraja	0,227
	Pituus	0,221
5	Latvussuhde a.k.o.	—0,661
	Alin kuiva oksa	0,660
	Kuivan latvuksen alaraja	0,553
	Latvussuhde k.l.a.	—0,545
6	Kuivan latvuksen alaraja	0,632
	Alin kuiva oksa	0,624
	Latvussuhde k.l.a.	—0,601
	Latvussuhde a.k.o.	—0,586
7	Kuivan latvuksen alaraja	0,581
	Alin kuiva oksa	0,571
	Latvussuhde k.l.a.	—0,551
	Latvussuhde a.k.o.	—0,527
Yhteensä	Alin kuiva oksa	0,510
	Kuivan latvuksen alaraja	0,484
	Latvussuhde a.k.o.	—0,470
	Latvussuhde k.l.a.	—0,440

Ensimmäisen laatuluokan tukkien tilavuuden suurimmat korrelaatiokertoimet eri alueilla

Alue	Korrelaatiokertoimet	
1	Alin kuiva oksa	0,568
	Kuivan latvuksen alaraja	0,567
	Tukkiosan tilavuus	0,502
	dh	0,470
2	Kuivan latvuksen alaraja	0,536
	Alin kuiva oksa	0,530
	Tukkiosan tilavuus	0,483
	Latvussuhde k.l.a.	—0,430
3	Tukkiosan tilavuus	0,483
	dh	0,420
	d^2h	0,419
	Rinnankorkeusläpimitta d	0,406
4	Alin kuiva oksa	0,377
	dh	0,257
	Pituus h	0,261
	d^2h	0,257
5	Alin kuiva oksa	0,668
	Latvussuhde a.k.o.	—0,614
	Kuivan latvuksen alaraja	0,564
	Latvussuhde k.l.a.	—0,509
6	Kuivan latvuksen alaraja	0,621
	Alin kuiva oksa	0.597
	Latvussuhde k.l.a.	—0,543
	Latvussuhde a.k.o.	—0,512
7	Tukkiosan tilavuus	0,618
	d^2h	0,604
	dh	0,593
	d^2	0,592
	(kuivan latvuksen alaraja	0,571)
Yhteensä	Alin kuiva oksa	0,502
	Kuivan latvuksen alaraja	0,482
	Tukkiosan tilavuus	0,474
	dh	0,427

Kuten jaotelmista havaitaan, johtopäätökset ovat olennaisesti samat kuin pelkästään oksaisuustunnuksia tarkasteltaessa. Tämä on ymmärrettävää sikäli, että oksaisuus määrittää käytännössä valtaosan tukin laadusta. Tämä on havaittu myös aiemmissa tutkimuksissa (H e i s k a n e n 1954 a, s. 30, 1955, s. 7). Toisaalta voidaan havaita joitakin muutoksia. Erityisesti tukkiosan tilavuus tai sen kanssa hyvin korreloivat tunnukset vaikuttavat merkityksellisiltä tekijöiltä. Ilmeistä onkin, että mm. lenkouden yms. vikojen merkitys vähenee puun kasvaessa, koska pienehköt viat korjautuvat ja toisaalta harvennushakkuissa pyritään poistamaan vialliset rungot. Näin ollen kun järeimmiksi kasvatetaan laadullisesti parhaimmat puuyksilöt, tukkiosan tilavuus voi kohota aiempaa merkittävämmäksi selittäjäksi.

Toisaalta näyttää siltä, että muut tukkien laatuun vaikuttavat tekijät ovat sangen satunnaisia. Tätä ilmeisesti kuvaa se, että laatuluokkia koskevat korrelaatiokertoimet olivat yleensä alhaisempia kuin oksaisuuslaatuluokkia koskevat korrelaatiokertoimet. — Käytännössä on kuitenkin olennaisin piirre, että myös laatuluokkien osalta oksaisuustunnukset korreloivat verraten hyvin.

Edellä on tarkasteltu pelkästään ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tai ensimmäisen yleisen laatuluokan tukkien osuutta tai tilavuutta rungossa. Kiinnostavaa on myös tarkastella, millaisia tuloksia saadaan laaturyhmästä, johon kuuluvat ensimmäisen ja toisen luokan tukit.

Seuraavassa jaotelmassa on esitetty ensimmäisen ja toisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuuden suurimmat korrelaatiokertoimet eri alueilla.

Alue	Korrelaatiokertoimet	
1	Latvussuhde k.l.a.	—0,612
	Latvussuhde a.k.o.	—0,607
	Alin kuiva oksa	0,557
	Kuivan latvuksen alaraja	0,543
2	Latvussuhde k.l.a.	—0,745
	Kuivan latvuksen alaraja	0,732
	Latvussuhde a.k.o.	—0,724
	Alin kuiva oksa	0,713
3	Latvussuhde a.k.o.	—0,338
	Alin kuiva oksa	0,314
	Latvussuhde k.l.a.	—0,305
	Kuivan latvuksen alaraja	0,286
4	Latvussuhde a.k.o.	—0,478
	Alin kuiva oksa	0,473
	Kuivan latvuksen alaraja	0,381
	Latvussuhde k.l.a.	—0,359
5	Latvussuhde a.k.o.	—0,625
	Latvussuhde k.l.a.	—0,621
	Alin kuiva oksa	0,601
	Kuivan latvuksen alaraja	0,591
6	Latvussuhde k.l.a.	—0,725
	Kuivan latvuksen alaraja	0,717
	Latvussuhde a.k.o.	—0,711
	Alin kuiva oksa	0,711
7	Latvussuhde k.l.a.	—0,630
	Latvussuhde a.k.o.	—0,615
	Kuivan latvuksen alaraja	0,592
	Alin kuiva oksa	0,584
Yhteensä	Latvussuhde a.k.o.	—0,579
	Latvussuhde k.l.a.	0,569
	Alin kuiva oksa	0,555
	Kuivan latvuksen alaraja	0,553

Jaotelman mukaan kaikilla alueilla parhaat korrelaatiot on saatu oksaisuustunnuksilla. Tässä tapauksessa parhaat korrelaatiot on saatu latvussuhteella, ei maasta mitatulla etäisyydellä. Tilanne on siis toinen kuin tarkasteltaessa pelkästään ensimmäisen luokan tukkien osuutta. Käytännössä erot ovat kuitenkin pienet, kuten korrelaatioiden tarkastelu osoittaa. Myös se, pidetäänkö oksaisuuden alkamisrajana alinta kuivaa oksaa vai kuivan latvuksen alarajaa, näyttää suhteellisen samantekevältä tulosten perusteella. — Sitä vastoin eri alueilta saadut tulokset todistavat samasta kuin aiemminkin: elävän latvuksen absoluuttisella tai suhteellisella pituudella ei ole samaa merkitystä tukkien laadun kannalta kuin kuivia oksia koskevilla tunnuksilla.

Oksaisuuslaatuluokan lisäksi tarkasteltiin myös kaikkien laatutekijöiden perusteella määräytyvää laatuluokkaa. Seuraavassa jaotelmassa on esitetty ensimmäisen ja toisen laatuluokan tukkien tilavuusosuuden suurimmat korrelaatiokertoimet eri alueilla.

Ensimmäisen ja toisen laatuluokan tukkien tilavuusosuuden suurimmat korrelaatiokertoimet eri alueilla

Alue	Korrelaatiokertoimet	
1	Latvussuhde k.l.a.	—0,589
	Latvussuhde a.k.o.	—0,585
	Alin kuiva oksa	0,545
	Kuivan latvuksen alaraja	0,529
2	Kuivan latvuksen alaraja	0,699
	Latvussuhde k.l.a.	—0,693
	Alin kuiva oksa	0,686
	Latvussuhde a.k.o.	—0,679
3	Rungon oksaisuusluokka	—0,261
	Latvussuhde a.k.o.	—0,239
	Alin kuiva oksa	0,235
	Kuivan latvuksen alaraja	0,202
4	Alin kuiva oksa	0,400
	Latvussuhde a.k.o.	—0,371
	Kuivan latvuksen alaraja	0,306
	Latvussuhde k.l.a.	—0,260
5	Latvussuhde k.l.a.	—0,567
	Latvussuhde a.k.o.	—0,560
	Kuivan latvuksen alaraja	0,543
	Alin kuiva oksa	0,538
6	Alin kuiva oksa	0,690
	Kuivan latvuksen alaraja	0,689
	Latvussuhde k.l.a.	—0,679
	Latvussuhde a.k.o.	—0,673

Alue	Korrelaatiokertoimet	
7	Latvussuhde k.l.a.	—0,532
	Kuivan latvuksen alaraja	0,528
	Alin kuiva oksa	0,513
	Latvussuhde a.k.o.	—0,506
Yhteensä	Alin kuiva oksa	0,517
	Latvussuhde a.k.o.	—0,516
	Kuivan latvuksen alaraja	0,511
	Latvussuhde k.l.a.	—0,503

Myös tässä tapauksessa havaitaan, että suurimmat korrelaatiokertoimet on saatu oksaisuustunnusten avulla. Neljällä alueella latvussuhde on parempi selittävä tekijä kuin etäisyystunnus, mutta kolmella alueella sekä kokonaisaineistossa tilanne on päinvastainen. Kun erot ovat pienet, vaikuttaa olevan samantekevää, käytetäänkö etäisyystunnusta vai latvussuhdetta.

Kiintoisaa myös on, että heikoimmat korrelaatiot on saatu molemmissa edellä olevissa jaotelmissa Varsinais-Suomen ja länsirannikon alueilla (alueet 3 ja 4). Tulos on siis sama kuin aiemmin, jolloin tarkasteltiin pelkästään ensimmäistä laatuluokkaa. Myös nämä tulokset viittaavat siihen, että mainituilla alueilla on tavanomaista suurempia vaikeuksia arvioida runkojen ominaisuuksien perusteella niistä saatujen tukkien laatua, kun pyritään objektiivisesti määritettävissä oleviin tekijöihin.

34. Yksittäisten runkojen regressioanalyysi

Korrelaatioiden tarkastelussa havaittiin, että parhaimpia selittäjiä olivat yleensä eri oksaisuustunnukset. Selvää on, että nämä oksaisuustunnukset korreloivat voimakkaasti keskenään. Näin ollen ei voida ilman muuta sanoa, millaiseksi muodostuu ennusteyhtälö käytettäessä valikoivan regressioanalyysin tekniikkaa, jolloin muodollisten kriteereiden perusteella valitaan selittävät tekijät. Ei ole esimerkiksi ilman muuta selvää, että kaikilla kertoimilla on looginen etumerkki, vaikka kaikki aiemmin tarkastellut korrelaatiokertoimet olivatkin suunnaltaan järkeviä. »Järkevyys» merkitsee tässä tapauksessa mm. sitä, että ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan osuuden ja eri latvussuhdetunnusten välinen korrelaatio oli negatiivinen ja osuuden sekä eri etäisyystunnusten välinen korrelaatio taas positiivinen. — Se, etteivät regressiokertoimet kuitenkaan välttämättä ole järkeviä, johtuu luonnollisesti selittävien tekijöiden multikollineaarisuudesta.

Seuraavassa jaotelmassa on esitetty valikoivalla regressioanalyysillä eri alueille lasketut yhtälöt ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuuden selittämiseksi. Selittävät tekijät on lueteltu taulukossa siinä järjestyksessä kuin ne ovat tulleet yhtälöön valikoivan regressioanalyysin tekniikkaa käytettäessä.

Alue	Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
1	Vakio	7,155		
	Kuivan latvuksen alaraja, m	3,202	5,7	2,8
	Rinnankorkeusläpimitta d, cm	1,251	7,5	5,0
	Latvussuhde a.k.o., %	— 0,8578	6,0	3,1
	Latvussuhde kaarnakuorirajasta, %	0,3301	2,1	0,4
	R^2 = 47,6 %			
	F = 136 (4,599)			
2	Vakio	—11,28		
	Kuivan latvuksen alaraja, m	4,428	7,2	3,8
	Rinnankorkeusläpimitta d, cm	2,658	5,3	2,1
	Latvussuhde a.k.o., %	— 0,5834	4,2	1,3
	d^2h, $cm^2 \cdot m$	— 0,001158	3,8	1,1
	R^2 = 59,5 %			
	F = 205 (4,559)			
3	Vakio	—17,01		
	Latvussuhde a.k.o., %	— 0,8839	4,3	3,4
	Rungon oksaisuusluokka 1 . . . 5	—10,34	3,5	2,2
	Latvussuhde k.l.a., %	1,642	2,9	1,6
	d^2, cm^2	0,1149	5,2	4,9
	d^2h, $cm^2 \cdot m$	— 0,004524	4,5	3,7
	Latvussuhde a.e.o., %	— 0,4015	2,9	1,5
	Rungon lenkous, cm	— 2,069	2,5	1,1
	Kuivan latvuksen alaraja, m	5,544	2,1	0,8
	R^2 = 24,5 % .			
	F = 17 (8,418)			
4	Vakio	—70,69		
	Alin kuiva oksa, m	5,246	9,5	17,4
	Rinnankorkeusläpimitta, cm	4,629	3,5	2,4
	Kaarnakuorenalaraja, m	— 1,962	2,7	1,4
	d^2, cm^2	— 0,05569	2,7	1,4
	kh, $cm \cdot m$	— 0,1094	2,2	1,0
	R^2 = 21,1			
	F = 22 (5,409)			
5	Vakio	138,4		
	Latvussuhde a.k.o., %	— 1,649	27,2	56,9
	d^2h, $cm^2 \cdot m$	0,000672	4,2	1,3
	R^2 = 61,7 %			
	F = 402 (2,498)			
6	Vakio	28,12		
	Kuivan latvuksen alaraja, m	3,872	7,1	3,7
	Rungon kapeneminen, cm	1,563	3,0	0,7
	Latvussuhde a.k.o., %	— 0,6694	5,1	1,9
	Rinnankorkeusläpimitta d, cm	0,4523	2,5	0,5
	R^2 = 55,7 %			
	F = 185 (4,591)			

Alue	Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
7	Vakio	—28,24		
	Kuivan latvuksen alaraja, m	2,753	2,3	1,0
	Alin kuiva oksa, m	4,861	3,9	2,8
	d^2, cm^2	0,01501	3,5	2,2
	Rungon lenkous, cm	— 3,096	2,2	0,9
	R^2 = 61,1 %			
	F = 85 (4,216)			
Yht.	Vakio	— 1,447		
	Latvussuhde k.l.a., %	0,5889	4,7	0,4
	Rinnankorkeusläpimitta d, cm	2,343	9,3	1,5
	Rungon oksaisuusluokka 1 ... 5	— 7,199	8,7	1,3
	d^2h, $cm^2 \cdot m$	— 0,000913	4,8	0,4
	Kaarnakuoren alaraja, m	— 0,9672	3,3	0,2
	Latvussuhde a.k.o., %	— 0,9075	15,0	3,9
	Kuivan latvuksen alaraja, m	3,942	6,9	0,8
	Rungon lenkous, cm	— 0,9404	3,4	0,2
	R^2 = 42,9 %			
	F = 311 (8,3319)			

Alueella 1 selittävät tekijät ovat tulkittavissa järkevästi kaarnakuorirajasta mitattua latvussuhdetta lukuunottamatta. Mahdollisesti kyseessä on sattuman aiheuttama ilmiö. Selitysaste ei juuri heikkene (0,4 %-yksikköä), vaikka sen poistaisikin.

Myös alueella 2 tekijät ovat hyvin tulkittavissa, joskin tekijöitä d ja d^2h on tarkasteltava samanaikaisesti.

Alueilla 3 ja 4 selitysasteet ovat heikot muihin alueisiin verrattuna, eikä regressioyhtälöitä ole helppo tulkita. Osa kertoimista on epäloogisia etumerkeiltään, eikä niitä voidakaan tulkita muista tekijöistä erillään vahvan multikollineaarisuuden vuoksi. Yhtälöillä ei ole esitetyssä muodossa mitään käytännöllistä merkitystä: mitattavia tekijöitä on liian paljon saatavaan hyötyyn nähden.

Alueella 5 yhtälö on selkeä ja jo sinällään käyttökelpoinen sekä helposti tulkittava: alimman kuivan oksan perusteella määritellyn latvuksen pienetessä sekä rungon suuretessa hyvälaatuisten tukkien tilavuusosuus lisääntyy.

Alueella 6 yhtälö on selkeä, joskin kapenemisen positiivinen vaikutus on yllättävä. Yleensä on nimittäin havaittu voimakkaan kapenemisen liittyvän heikkoon tukkien laatuun, kuten aiemmin on jo mainittu. Mahdollisesti kapeneminen kuvaa tässä tapauksessa rungon suuruutta, koska niiden välinen korrelaatio on korkea.

Alueella 7 huomiota kiinnittää rungon lenkous. Sinänsä vaikutus on odotetun suuntainen, mutta sikäli outo, että selitettävänä on oksaisuuslaatuluokilla ajateltu hyvien tukkien osuus, ei se laatu, johon vaikuttavat myös muut tekijät kuin oksaisuus. Ilmeisesti selittävyys johtuu lenkouden ja oksaisuuden korrelaatiosta.

Koko aineistosta laskettu regressioyhtälö on tulkittavissa, mutta hankala käyttää lukuisten mitattavien tekijöiden takia. Yleensäkin saadaan suuri joukko muodolli-

sesti merkitseviä selittäjiä silloin, kun aineisto on laaja (yli 3300 runkoa nyt) ja selitettävän muuttujan riippuvuus eri tekijöistä heikko. — Esitetyssä muodossaan regressioyhtälöllä ei ole käytännön merkitystä. Käytännöllinen muoto on harkittava erikseen.

Eri alueille laskettuja regressioyhtälöitä vertaamalla näyttää siltä, että olennaisesti vaikuttavia tekijöitä on kaksi: oksaisuus ja puun koko. Edellisen mittareina voidaan helpoimmin käyttää etäisyyttä alimpaan kuivaan oksaan tai kuivan latvuksen alarajaan. Mikäli myös puun pituus on tiedossa tai helposti mitattavissa, kyseeseen voi tulla myös vastaava suhteellinen mittari, latvussuhde. — Jälkimmäisen helpoin mittari on rinnankorkeusläpimitta. Mahdollisesti vaihtelua voidaan pienentää käytmällä sen sijasta käytännössä vaikeammin selvitettävää tukkipuuosan tilavuutta, joka käytännössä voidaan saada rinnankorkeusläpimitan ja puun pituuden perusteella. Jos koon mittarina on tukkiosan tilavuus, vastaavasti on luonnollisin oksaisuuden mittari latvussuhde, koska pituus joudutaan joka tapauksessa siis mittaamaan.

Millaisia kertoimia sitten on odotettavissa?

Selvää tietysti on, että etäisyys alimpaan kuivaan oksaan tai latvuksen alarajaan vaikuttaa ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan osuuteen positiivisesti. Puun koon vaikutus on sitä vastoin vaikeammin pääteltävissä. Käsillä olevan aineiston tulokset viittaavat tosin lievään positiiviseen riippuvuuteen, kuten seuraavat rinnankorkeusläpimitan ja tukkiosan tilavuuden korrelaatiokertoimet ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan osuuden kanssa osoittavat.

Alue	Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden korrelaatiokerroin	
	tukkiosan tilavuuden kanssa	rinnankorkeusläpimitan kanssa
1	0,303	0,234
2	0,247	0,179
3	0,056	0,053
4	0,057	0,088
5	0,278	0,268
6	0,195	0,117
7	0,382	0,351
Yhteensä	0,223	0,182

Tulos saattaa vaikuttaa yllättävältä, onhan yleinen tutkimuksiin perustuva käsitys, että laatu ja erityisesti oksaisuuslaatu on sitä parempi, mitä pienemmästä rungosta on kyse (esim. Heiskanen 1954 a, s. 89, 1955, s. 8, 1965, s. 27). Em. tutkimusten aineistot ovat toisistaan riippumattomia, joten niillä on melkoinen todistusvoima.

Syynä päinvastaiseen tulokseen on ilmeisesti se, että samassa *metsikössä* laatu voi pienissä puissa olla parempi kuin suurissa, koska kehityksessään jälkeen jääneet puut kehittyvät hitaammin ja ohutoksaisemmiksi kuin valtapuut. Tämän käsi-

tyksen kanssa eivät ole ristiriidassa em. H e i s k a s e n tulokset, jotka kaikki on saatu metsiköittäin. Sitä vastoin näyttää käsillä olevan tutkimuksen valossa ilmeiseltä, että tarkasteltaessa eri metsikköjä yhdessä metsikköjen välinen vaihtelu vaikuttaa siten, että laatu (osuutena mitaten) paranee puiden koon suuretessa, kun muiden tekijöiden vaikutusta ei eliminoida.

Tämän kysymyksen selvittämiseksi laskettiin kaikilla 52 leimikolla korrelaatiokertoimet ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden sekä rinnankorkeusläpimitan ja tukkiosan välille. Leimikoittaiset tulokset olivat seuraavat.

Alue	Leimikko	Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden korrelaatio läpimitan kanssa	Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden korrelaatio tukkiosan tilavuuden kanssa
1	1	—0,121	—0,109
	2	—0,107	0,074
	3	—0,137	—0,093
	4	0	0
	5	—0,143	—0,015
	6	0,046	0,099
	7	0,028	0,139
	8	—0,022	0,115
	9	0,042	0,159
2	1	0,140	0,453
	2	—0,030	0,113
	3	—0,081	—0,016
	4	0,012	0,028
	5	0	0
	6	0	0
	7	0	0
3	1	—0,220	—0,196
	2	0,268	0,363
	3	0,195	0,322
	4	0,181	0,238
	5	—0,293	—0,271
	6	0,120	0,198
	7	0,053	0,103
	8	—0,025	0,025
	9	—0,201	—0,082
4	1	0,217	0,277
	2	—0,111	—0,141
	3	0,042	0,032
	4	0,026	0,098
	5	—0,124	—0,166
	6	0,667	0,641
	7	0,075	0,115
	8	0,242	0,304

Alue	Leimikko	Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden korrelaatio läpimitan kanssa	tukkiosan tilavuuden kanssa
5	1	0,212	0,196
	2	—0,162	—0,065
	3	—0,110	—0,145
	4	—0,079	0,044
	5	0,182	0,167
	6	0,272	0,115
	7	—0,131	—0,122
6	1	0,005	0,105
	2	—0,121	—0,007
	3	—0,212	—0,199
	4	0,122	0,134
	5	—0,016	—0,007
	6	0,253	0,179
	7	0	0
	8	0,092	0,026
	9	0	0
7	1	—0,050	0,047
	2	—0,063	—0,061
	3	—0,054	—0,039
	Yhteensä	0,182	0,223

Rinnankorkeusläpimitan osalta negatiivisia korrelaatiokertoimia oli 23 ja tukkiosan tilavuuden osalta 17. Lähes kaikki korrelaatiot olivat alhaisia etumerkistä riippumatta. — Näyttää siltä, että useissa tapauksissa vallittujen puiden laatu on parempi, mutta myös päinvastaisia tapauksia on, jopa runsaammin. Mahdollisesti tällöin on saattanut vaikuttaa metsikön eri-ikäisyys, jossa suurimmat, hyvälaatuiset ylispuut ovat muita vanhempia. — Joka tapauksessa korrelaatioiden alhaisuus osoittaa, ettei puun koko ole mikään olennainen laatutunnus oksaisuustunnuksiin verrattuna, joiden korrelaatiot ensimmäisen laatuluokan tilavuusosuuden kanssa olivat jokaisella leimikolla korkeat ja etumerkit samat.

Näennäisen ristiriitaiset tulokset voidaan siis selittää havaintoyksikön koon perusteella. Tällaisesta on raportteja monilta muilta tieteenaloilta.

Väärinkäsityksen välttämiseksi on vielä mainittava, ettei edellä esitetty välttämättä merkitse puun koon positiivista vaikutusta laatuun silloin, kun mukaan otetaan samanaikaiseen tarkasteluun oksaisuus. Tämä johtuu selitettävien tekijöiden korreloitumisesta.

Aiemmin esitetyistä valikoivan regressioanalyysin tuloksista voidaan päätellä, ettei mallin muodon valintaan tarvitse kiinnittää ylenmääräistä huomiota: selitysaste jää joka tapauksessa pieneksi esim. rungon tilavuuden ennustamiseen verrattuna.

Ilmeisesti on riittävää ottaa ennusteyhtälöön mukaan sekä oksaisuuden että koon mittarista vain niiden ensimmäiset ja toiset potenssit sekä yhdysvaikutusta kuvaava ensimmäisten potenssien keskinäinen tulo.

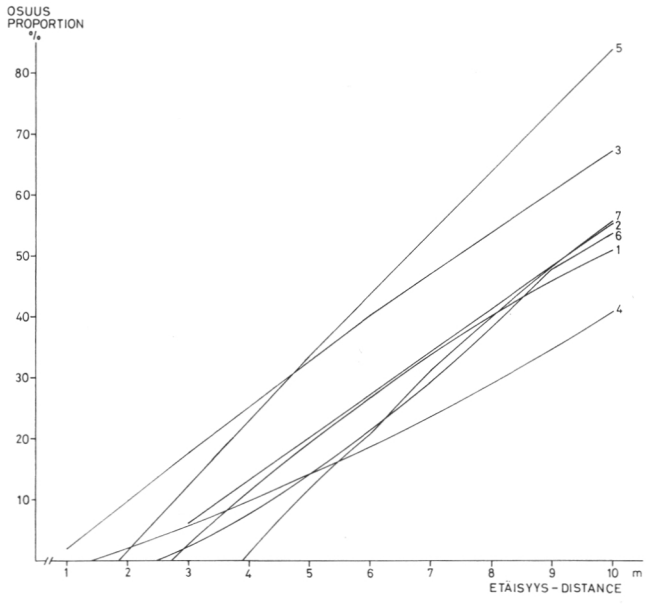
Taulukossa 11 on esitetty tulokset eri alueille saaduista regressioyhtälöistä, kun selittävinä tekijöinä käytettiin etäisyyttä alimpaan kuivaan oksaan, sen neliötä ynnä rinnankorkeusläpimittaa, sen neliötä sekä etäisyyden ja läpimitan tuloa. Tulon sijasta ei kokeiltu muita yhdysvaikutuksen kuvausmahdollisuuksia, joilla olisi ehkä päästy toisiin tuloksiin.

Kun tuloksia verrataan valikoivalla regressioanalyysillä saatuihin tuloksiin, havaitaan selitysasteen olevan kiinteätä mallia käytettäessä heikoimmassakin tapauksessa vain vähän pienempi. Alueilla 3, 4 ja 7 sekä kokonaisaineistossa selitysaste jopa nousi, vaikka samat selittäjät olivat mukana valikoivassa regressioanalyysissa. Tämä osoittaa, ettei valikoivalla regressioanalyysillä päästä välttämättä edes suurimman selitysasteen malleihin niiden järkevyydestä puhumattakaan. Tästä on myös aiempia kokemuksia (esim. Kärkkäinen 1978, s. 60).

Tässä tapauksessa ei ole tarpeen välittää eri tekijöiden muodollisesta tilastollisesta merkitsevyydestä, onhan kyseessä kiinteä malli, josta tekijöitä ei karsita (ks. Kärkkäinen 1969, s. 13, 1976, s. 228). Kiintoisaa kuitenkin on, että kaikilla

Taulukko 11. Regressioyhtälöt ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_1 = etäisyys alimpaan kuivaan oksaan (m), d = rinnankorkeusläpimitta (cm), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y.x}$ = jäännöshajonta (%).
Table 11. Regression equations for predicting the volume percentage of the first knottiness class in various districts. x_1 = distance to the lowest dead branch (m), d = breast height diameter (cm), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%) F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	—68,84	—67,82	37,00	—50,43	—52,28	—33,67	—88,31	—61,36
x_1	10,69	6,533	11,50	—3,255	15,65	1,994	20,03	8,347
t	5,5	4,1	4,7	1,2	6,7	1,1	5,6	11,4
x^2_1	—0,2911	—0,001565	—0,09632	0,1640	—0,05928	0,4370	—0,3046	—0,09133
t	2,9	0,0	10,0	0,9	0,4	4,7	2,1	19,6
x_1d	0,000052	0,01928	—0,1282	0,2459	—0,1872	0,01375	—0,2676	0,001403
t	0,0	0,4	1,5	3,0	2,2	0,2	2,9	0,1
d	2,146	3,340	—3,712	3,598	1,562	1,463	0,7300	2,710
t	1,5	3,1	1,4	2,7	0,9	1,0	0,3	4,9
d^2	—0,01864	—0,04877	0,07930	—0,07041	—0,01117	—0,01826	0,03641	—0,03784
t	0,7	2,9	1,8	3,3	0,4	0,7	0,9	4,0
R^2	45,3	56,8	31,0	21,7	58,7	53,3	61,4	46,6
F	99	147	38	23	141	135	69	581
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	19,7	19,0	28,2	22,8	19,5	16,5	18,5	21,8



Kuva 21. Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuuden riippuvuus etäisyydestä alimpaan kuivaan oksaan, kun rinnankorkeusläpimitta on 25 cm. Alueet 1 . . . 7.

Fig. 21. Regression of the volume percentage of the first knottiness class on the distance from the ground to the lowest dead branch when the breast height diameter is 25 cm. Districts 1 . . . 7.

alueilla oksaisuus oli tilastollisesti merkitsevä tekijä joko sellaisenaan, neliönä tai yhdysvaikutuksena läpimitan kanssa. Jopa yhdysvaikutuskin oli muodollisesti merkitsevä tekijä kolmella alueella. Sitä vastoin läpimitta oli sellaisenaan tai neliönä merkitsevä vain kahdella alueella. — Nämä tulokset viittaavat oksaisuusdimension hallitsevaan merkitykseen.

Kun taulukossa 11 esitetyistä yhtälöistä on vaikea saada mielikuvaa, kuvassa 21 on esitetty eri alueille lasketut yhtälöt, kun rinnankorkeusläpimitta on 25 cm ja etäisyys alimpaan kuivaan oksaan vaihtelee välillä 1. . .10 m. — Kuvan mukaan ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan riippuvuus etäisyydestä alimpaan kuivaan oksaan on likimain lineaarinen. Alueet poikkeavat toisistaan, mutta käytännössä tarvittavaa tarkkuutta ajatellen ilmeisesti kohtuullisen vähän. Lisäksi on huomattava, että kuvassa on esitetty kuvaajat useissa tapauksissa myös havaintovälin ulkopuolelta.

Voidaanko sitten etäisyys alimpaan kuivaan oksaan korvata etäisyydellä kuivan latvuksen alarajaan?

Taulukossa 12 on esitetty vastaavat regressioyhtälöt kuin taulukossa 11, mutta oksaisuustunnuksena on käytetty etäisyyttä kuivan latvuksen alarajaan. Vertaamalla

Taulukko 12. Regressioyhtälöt ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_2 = etäisyys kuivan latvuksen alarajaan (m), d = rinnankorkeusläpimitta (cm), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y.x}$ = jäännöshajonta (%).

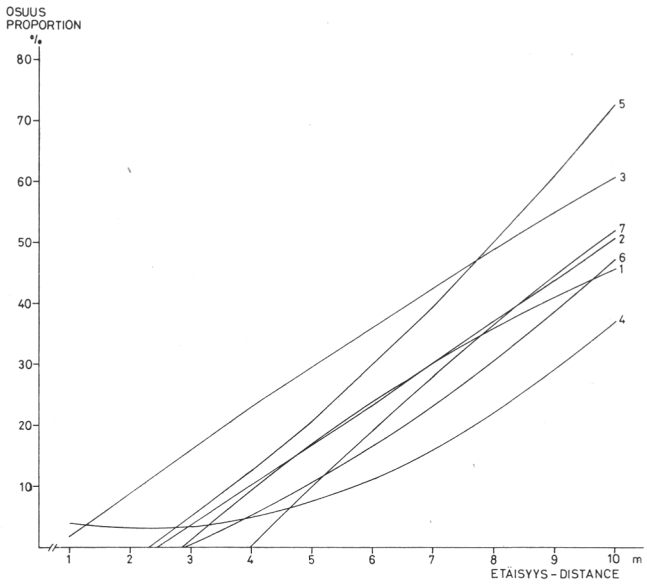
Table 12. Regression equations for predicting the volume percentage of the first knottiness class in various districts. x_2 = distance to the lower border of the dead crown (m), d = breast height diameter (cm), t = t-value, R^2 = coefficient of determination(%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	—65,92	—61,84	—21,95	—58,56	—93,98	—27,62	—65,80	—79,63
x_2	10,66	5,883	12,84	—3,982	12,78	3,034	18,24	10,59
t	6,0	3,9	5,6	1,0	4,6	1,8	5,2	15,3
x^2_2	—0,3005	0,03045	—0,08862	0,5541	0,3335	0,3362	—0,2229	—0,08980
t	3,6	0,4	8,9	1,9	1,6	4,1	1,5	18,5
x_2d	—0,01618	0,01757	—0,2117	0,06257	—0,2966	—0,02916	—0,2598	—0,09658
t	0,3	0,4	2,6	0,9	2,9	0,5	2,9	4,1
d	2,050	2,862	0,1979	4,285	4,212	0,8464	—0,3164	3,376
t	1,4	2,7	0,1	3,1	1,9	0,6	0,1	5,9
d^2	—0,01931	—0,04026	0,01808	—0,06825	—0,04072	—0,004634	0,04901	—0,04070
t	0,8	2,4	0,4	2,9	1,1	0,2	1,2	4,2
R^2	44,7	57,3	24,8	10,5	39,6	53,9	59,7	42,6
F	97	150	28	10	65	138	64	492
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	19,8	18,9	29,5	24,4	23,6	16,4	18,9	22,6

taulukkoja havaitaan, että selitysaste on taulukossa 12 korkeampi ainoastaan alueilla 2 ja 6. Muissa tapauksissa sekä kokonaisaineistossa selitysaste on suurempi käytettäessä etäisyyttä alimpaan kuivaan oksaan.

Kuvassa 22 on esitetty taulukon 12 yhtälöiden kuvaajat silloin, kun rinnankorkeusläpimitta on 25 cm. — Olennaisesti tulokset ovat samat kuin kuvassa 21. Liikaa huomiota ei kannata kiinnittää alueen 4 kuvaajaan, koska selitysaste oli poikkeuksellisen alhainen, ainoastaan 10,5 %.

Regressioanalyysiä käytettiin myös kolmanteen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvien tukkien tilavuusosuuden selittämiseksi. Mikäli raakkitukkeja ei ole, on kuitenkin aluksi parempi tarkastella ensimmäiseen ja toiseen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvien tukkien tilavuusosuuden selittämistä. Kolmannen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuus saadaan tällöin yksinkertaisesti vähentämällä yhtälön vakiotermi luvusta 100 sekä muuttamalla muiden kertoimien etumerkit. — Itse asiassa kokeiltiin myös pelkästään toisen laatuluokan osuuden selittämistä, mutta heikolla menestyksellä: selitysaste oli vain muutamia prosentteja. Toisen luokan osuus on siis likimain vakio.



Kuva 22. Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuuden riippuvuus etäisyydestä kuivan latvuksen alarajaan, kun rinnankorkeusläpimitta on 25 cm. Alueet 1 . . . 7.

Fig. 22. Regression of the volume percentage of the first knottiness class on the distance from the ground to the lower border of the dead crown when the breast height diameter is 25 cm. Districts 1 . . . 7.

Seuraavassa jaotelmassa on esitetty valikoivalla regressioanalyysillä eri alueille saadut tulokset.

Valikoivalla regressioanalyysillä eri alueille lasketut yhtälöt ensimmäisen ja toisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuuden (%) selittämiseksi. Tekijät ovat siinä järjestyksessä kun ne ovat tulleet yhtälöön (poistuneita lukuunottamatta).

Alue	Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
1	Vakio	324,0		
	Latvussuhde k.l.a., %	— 0,8096	3,4	1,1
	Rungon oksaisuusluokka 1 . . . 5	—14,20	5,2	2,5
	Elävän latvuksen alaraja, m	— 1,203	2,3	0,5
	Latvussuhde a.k.o., %	— 2,216	4,0	1,5
	Oksakyhmyjen alaraja, m	12,61	2,5	0,6
	Latvussuhde kaarnakuorirajasta, %	0,5097	2,3	0,5
	kd^2, cm · cm^2	0,002365	2,3	0,5
	Alin kuiva oksa, m	— 6,757	2,9	0,8
	d^2h, cm^2 · m	0,001912	3,0	0,9
	Rinnankorkeusläpimitta d, m	— 2,971	3,2	0,9
	R^2 = 44,8 %			
	F = 48 (10,593)			

Alue	Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
2	Vakio	135,3		
	Latvussuhde k.l.a., %	— 1,087	5,5	2,2
	Rinnankorkeusläpimitta d, cm	3,782	3,3	0,8
	Rungon oksaisuusluokka 1 . . . 5	—13,86	6,1	2,7
	Elävän latvuksen alaraja, m	— 1,450	3,7	1,0
	d^2, cm^2	— 0,04615	2,4	0,4
	Latvussuhde a.k.o., %	— 0,4530	2,3	0,4
	R^2 = 60,3 %			
	F = 141 (6,557)			
3	Vakio	149,5		
	Latvussuhde a.k.o., %	— 0,3388	5,4	5,5
	Rungon oksaisuusluokka 1 . . . 5	—13,53	5,8	6,4
	Pituus, m	— 1,663	3,3	2,1
	R^2 = 19,1 %			
	F = 33 (3,423)			
4	Vakio	106,5		
	Latvussuhde a.k.o., %	— 0,6531	2,1	0,8
	Rungon oksaisuusluokka 1 . . . 5	—11,35	3,7	2,5
	Alin kuiva oksa, m	4,291	2,5	1,1
	R^2 = 26,5 %			
	F = 49 (3,411)			
5	Vakio	245,7		
	Latvussuhde a.k.o., %	— 1,150	8,0	6,7
	Latvussuhde k.l.a., %	— 0,9334	6,1	3,8
	Rinnankorkeusläpimitta, cm	— 3,418	3,8	1,5
	Latvussuhde a.e.o., %	0,6002	4,7	2,3
	d^2h, $cm^2 \cdot m$	0,002351	2,9	0,9
	Rungon oksaisuusluokka 1 . . . 5	— 8,383	2,6	0,7
	R^2 = 48,6 %			
	F = 78 (6,494)			
6	Vakio	128,3		
	Latvussuhde k.l.a., %	— 1,129	6.0	2,7
	Alin kuiva oksa, m	4,090	4,0	1,2
	Rungon oksaisuusluokka 1 . . . 5	— 9,257	3,7	1,0
	Elävän latvuksen alaraja, m	— 0,9179	2,2	0,4
	R^2 = 55,1 %			
	F = 181 (4,591)			
7	Vakio	214,8		
	Latvussuhde k.l.a., %	— 1,280	12,2	38,4
	Rinnankorkeusläpimitta d, cm	— 3,665	3,5	3,1
	d^2h, $cm^2 \cdot m$	0,001961	2,9	2,1
	R^2 = 44,4 %			
	F = 58 (3,217)			

(jatkuu)

Alue	Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Yht.	Vakio	240,1		
	Latvussuhde a.k.o., %	— 1,347	6,4	0,7
	Rungon oksaisuusluokka 1...5	—15,76	14,2	3,5
	Oksakyhmyjen alaraja, m	— 4,712	7,9	1,1
	Kuivan latvuksen alaraja, m	2,736	6,8	0,8
	Rungon lenkous, cm	— 1,821	5,3	0,5
	Latvussuhde a.e.o., %	0,1193	2,4	0,1
	kh, cm · m	0,3556	5,8	0,6
	Kaarnakuoren alaraja, m	— 1,467	4,1	0,3
	Alin kuiva oksa, m	— 3,494	3,0	0,2
	Rungon kapeneminen, cm	— 6,003	5,3	0,5
	Pituus, m	— 2,230	4,5	0,4
	d^2h, $cm^2 \cdot m$	0,000294	2,4	0,1
	$R^2 = 42,3$ %			
	$F = 202$ (12,3315)			

Myös tässä tapauksessa havaitaan, ettei selittävien tekijöiden kertoimia voida tarkastella muista riippumatta multikollineaarisuuden vuoksi. Niinpä osa kertoimista on epäloogisia etumerkiltään ja ristiriidassa mm. korrelaatiotarkastelun tulosten kanssa.

Yhtälöistä voidaan joka tapauksessa todeta oksaisuustekijöiden määräävyys. Latvussuhde saatiin yleensä etäisyystunnusta merkittävämmäksi tekijäksi. Aiemmin tarkasteltuun ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan osuuteen verrattuna uutta on myös se, että metsäalan työehtosopimuksen mukaisesti määritetty rungon oksaisuusluokka osoittautui johdonmukaisesti käyttäytyväksi ja tärkeäksi selittäjäksi. Ainoastaan alueella 7 se ei tullut tilastollisesti merkitseväksi selittäjäksi. Kun korrelaatio muiden selittävien tekijöiden kanssa on pieni, se voidaan tulkita muista tekijöistä riippumatta: kun työehtosopimuksen mukainen rungon oksaisuusluokka heikkenee yhdellä numerolla, alenee hyvien tukkien (oksaisuuslaatuluokka 1 ja 2) osuus tilavuudesta 8...14 %-yksikköä alueesta riippuen.

Luultavaa on, että rungon oksaisuusluokan lisääntynyt merkitys pelkästään luokan 1 tukkien osuuden selittämiseen verrattuna johtuu siitä, että oksaisuuslaatuluokkaan 2 kuuluvia tukkeja saadaan myös muualta kuin tyviosasta. Tällöin silmävaraisesti todettava rungon oksaisuusluokka korreloi hyvin tukin oksaisuuslaadun kanssa. Sitä vastoin helposti karsittavat kuivat oksat, joita saattaa olla lähinnä rungon alaosassa, tyvitukin alueella, eivät vaikuta työehtosopimuksen mukaisiin oksaisuusluokkiin, mutta kyllä selvästi tukkien oksaisuuslaatuun.

Paria poikkeusta lukuunottamatta selitysasteet olivat edellisessä jaotelmassa alempia kuin vastaavassa ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan jaotelmassa. Saattaa olla, että parhaitten tukkien tilavuusosuus on helpommin ennustettavissa kuin laajemman ryhmän, johon kuuluu myös keskihyviä tukkeja.

Myös tässä tapauksessa ennusteyhtälöt soveltuvat sellaisenaan huonosti käyttöön. Yhtälöitä vertaamalla tärkeimmiksi tekijöiksi voidaan poimia kuivien oksien perusteella määritelty latvussuhde, metsäalan työehtosopimuksen mukainen oksaisuusluokka sekä jokin puun koon tunnus.

Jos käytännöllisessä sovellutuksessa pyritään objektiivisesti mitattavissa oleviin tekijöihin, rungon oksaisuusluokka työehtosopimuksen mukaan määriteltynä ei voi tulla kysymykseen, koska se on ainoastaan arvioitavissa. Näin ollen joudutaan myös tässä tapauksessa tyytymään johonkin objektiivisesti mitattavaan oksaisuustunnukseen sekä johonkin puun koon tunnukseen.

Taulukossa 13 on esitetty tulokset regressioyhtälöistä, joissa selittävinä tekijöinä on käytetty etäisyyttä alimpaan kuivaan oksaan sekä rinnankorkeusläpimittaa, molemmat aiemmin kuvattuine muunnoksineen. Tässä tapauksessa selittävänä tekijänä on kolmannen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuus. Mikäli tämän sijasta tarvitaan ensimmäisen ja toisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuutta, se saadaan aiemmin selostetulla tavalla vähentämällä vakiotekijä luvusta 100 sekä vaihtamalla muiden kertoimien etumerkit. — Kun tässä yhteydessä tulkintaa ei tarvittu, esitykseen valittiin kolmannen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuus.

Taulukko 13. Regressioyhtälöt kolmannen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_1 = etäisyys alimpaan kuivaan oksaan (m), d = rinnankorkeusläpimitta (cm), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y.x}$ = jäännöshajonta (%).

Table 13. Regression equations for predicting the volume percentage of the third knottiness class in various districts. x_1 = distance to the lowest dead branch (m), d = breast height diameter (cm), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	4,95	197,75	—67,81	1,30	4,69	119,53	24,95	59,03
x_1	—24,85	—25,45	—9,192	—14,32	—30,26	—17,38	—19,10	—16,38
t	9,1	12,8	4,0	3,2	9,2	5,2	5,9	16,2
x^2_1	1,025	0,7972	0,06602	0,5619	1,272	0,03092	0,5961	0,1185
t	7,3	7,1	7,3	2,0	6,3	0,2	4,5	18,5
x_1d	0,1402	0,2933	0,1380	0,05657	0,2526	0,2944	0,1683	0,2645
t	1,5	4,9	1,7	0,4	2,1	2,7	2,0	7,6
d	8,611	—4,292	9,521	6,011	8,647	0,5812	6,088	3,299
t	4,2	3,2	4,0	2,9	3,6	0,2	2,9	4,3
d^2	—0,1621	0,04388	—0,1707	—0,1044	—0,1591	—0,04109	—0,1147	—0,07773
t	4,7	2,0	4,1	3,1	3,5	0,9	3,2	6,0
R^2	38,9	52,5	20,8	16,7	44,9	37,6	45,3	33,0
F	76	123	22	16	81	71	36	327
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	27,6	23,8	26,3	36,2	27,6	29,9	16,6	30,1

Valikoivalla regressioanalyysillä saatuihin selitysasteisiin verrattuna ovat taulukon 13 selitysasteet yleensä jonkin verran pienempiä. Eroja ei kuitenkaan voi pitää suurina. Alueilla 3 ja 7 ovat kiinteiden mallien selitysasteet jopa suuremmat.

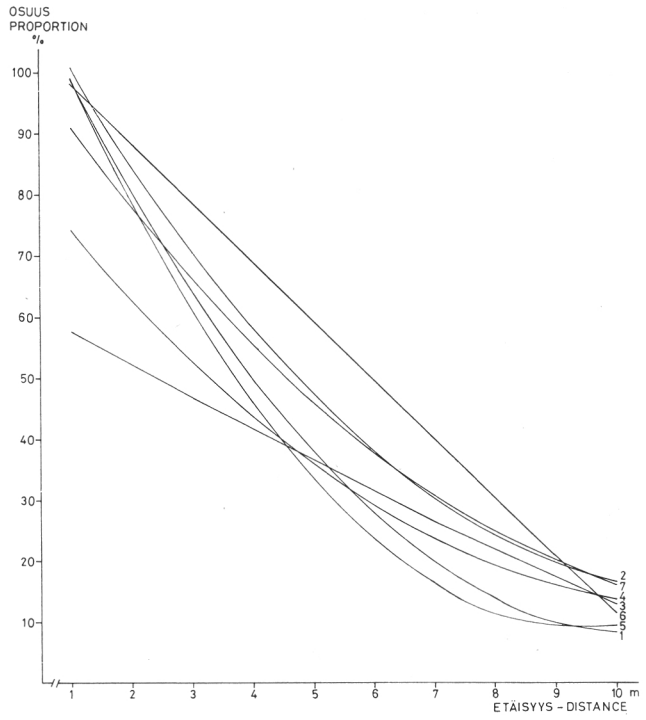
Taulukossa 14 on esitetty vastaavat tulokset silloin, kun oksaisuustunnuksena käytettiin etäisyyttä kuivan latvuksen alarajaan. Alueilla 2, 6 ja 7 selitysasteet olivat tällöin hieman korkeammat. Eroja ei kuitenkaan voi pitää suurina. Ilmeistä onkin, että valinta näiden kahden oksaisuustunnuksen välillä voidaan tehdä muiden tekijöiden perusteella.

Kun taulukoissa 13 ja 14 esitetyistä yhtälöistä on vaikea saada yleiskuvaa, niiden kuvaajat on esitetty kuvissa 23 ja 24 silloin, kun rinnankorkeusläpimitta on 25 cm. — Vaikka alueet näyttävätkin poikkeavan toisistaan, eroja ei voi pitää suurina käytännön tarpeita ajatellen. Myös tässä tapauksessa näyttää ilmeiseltä, että eri alueita varten voidaan laatia yhteinen ennusteyhtälö.

Taulukko 14. Regressioyhtälöt kolmannen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_2 = etäisyys kuivan latvuksen alarajaan (m), d = rinnankorkeusläpimitta (cm), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y.x}$ = jäännöshajonta (%).

Table 14. Regression equations for predicting the volume percentage of the third knottiness class in various districts. x_2 = distance to the lower border of the dead crown (m), d = breast height diameter (cm), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	—14,20	187,57	—40,77	—12,75	67,14	130,02	2,44	61,19
x_2	—21,78	—23,49	—8,018	—2,629	—35,64	—20,31	—16,23	—15,23
t	8,8	12,5	3,8	0,4	10,9	6,6	5,3	16,5
x^2_2	0,8883	0,7090	0,05529	0,01169	1,286	0,2295	0,3963	0,1154
t	7,5	7,1	6,0	0,0	5,2	1,6	3,1	17,8
x_2d	0,09876	0,2544	0,1244	—0,1294	0,3622	0,3455	0,1701	0,2248
t	1,2	4,6	1,6	1,2	3,0	3,5	2,1	7,2
d	9,414	—3,521	7,438	5,782	6,993	0,6232	6,985	3,380
t	4,7	2,6	2,9	2,7	2,7	0,2	3,3	4,4
d^2	—0,1686	0,03214	—0,1338	—0,08859	—0,1515	—0,04896	—0,1268	—0,07706
t	4,9	1,5	3,0	2,5	3,3	1,1	3,5	5,9
R^2	38,2	53,8	15,5	9,3	43,6	39,3	46,0	32,6
F	74	130	15	8	77	76	37	321
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	27,8	23,4	27,1	37,8	28,0	29,5	16,5	30,2



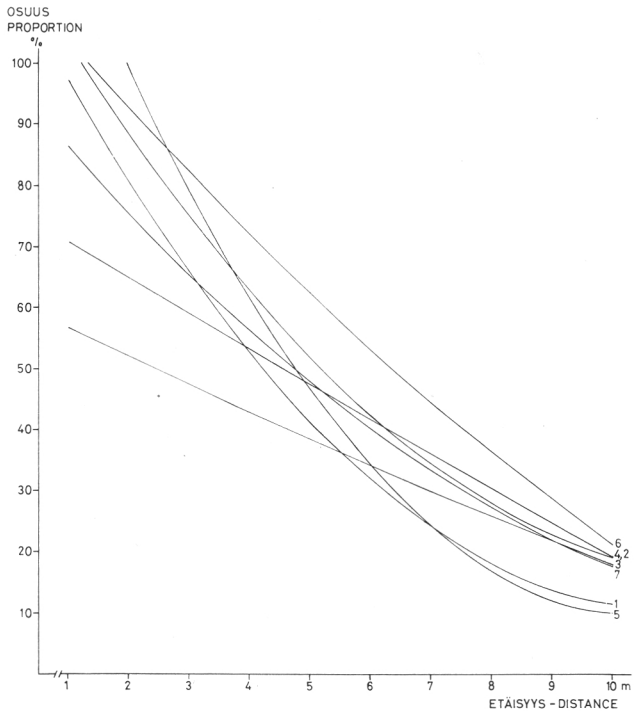
Kuva 23. Kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuuden riippuvuus etäisyydestä alimpaan kuivaan oksaan, kun rinnankorkeusläpimitta on 25 cm. Alueet 1 . . . 7.

Fig. 23. Regression of the volume percentage of the third knottiness class on the distance from the ground to the lowest dead branch when the breast height diameter is 25 cm. Districts 1 . . . 7.

Edellä on tarkasteltu pelkästään oksaisuuslaatuluokkia. Kun myös muut tukkien laatuun vaikuttavat tekijät otettiin huomioon, tulokset olivat kuitenkin samansuuntaisia kuin edellä on esitetty. Esimerkiksi oksaisuustekijöiden merkitys tuli todetuksi myös tässä yhteydessä. — Myös aiemmissa tutkimuksissa on todettu oksaisuuden määräävän laadun hyvin usein, esim. 80. . .90 %:ssa tapauksista (H e i s k a n e n 1954 a, s. 30, 1955, s. 7).

Seuraavassa jaotelmassa on esitetty valikoivalla regressioanalyysillä saadut tulokset eri alueille selitettäessä ensimmäisen laatuluokan tukkien tilavuusosuuden vaihtelua.

Valikoivalla regressioanalyysillä eri alueille lasketut yhtälöt ensimmäisen laatuluokan tukkien tilavuusosuuden (%) selittämiseksi. Tekijät ovat siinä järjestyksessä kun ne ovat tulleet yhtälöön (poistuneita lukuunottamatta).



Kuva 24. Kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuuden riippuvuus etäisyydestä kuivan latvuksen alarajaan, kun rinnankorkeusläpimitta on 25 cm. Alueet 1 . . . 7.

Fig. 24. Regression of the volume percentage of the third knottiness class on the distance from the ground to the lower border of the dead crown when the breast height diameter is 25 cm. Districts 1 . . . 7.

Alue	Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
1	Vakio	23,76		
	Alin kuiva oksa, m	2,886	3,8	1,6
	Rinnankorkeusläpimitta d, cm	0,9514	6,3	4,2
	Latvussuhde k.l.a., %	— 0,5940	3,8	1,6
	Rungon lenkous, cm	— 2,482	2,2	0,5
	R^2 = 35,1 %			
	F = 81 (4,599)			
2	Vakio	—16,62		
	Alin kuiva oksa, m	2,941	3,5	1,3
	Kuivan latvuksen alaraja, m	2,464	3,1	1,0
	Rinnankorkeusläpimitta d, cm	0,3635	2,5	0,7
	Rungon lenkous, cm	— 2,780	—2,1	0,5
	R^2 = 40,0 %			
	F = 93 (4,559)			

Alue	Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
3	Vakio	—139,0		
	Rungon lenkous, cm	— 5,489	6,5	8,1
	Alin kuiva oksa, m	3,440	3,2	2,0
	Latvussuhde k.l.a., %	1,846	3,4	2,2
	Rungon oksaisuusluokka 1 ... 5	—10,64	3,8	2,8
	d^2, cm^2	0,08200	3,7	2,6
	d^2h, $cm^2 \cdot m$	— 0,003109	3,1	1,8
	Kuivan latvuksen alaraja, m	6,454	2,3	1,0
	$R^2 = 19,7$ % .			
	F = 15 (7,419)			
4	Vakio	—43,55		
	Alin kuiva oksa, m	6,098	6,4	8,1
	Rungon lenkous, cm	— 1,228	3,4	2,3
	Latvussuhde a.k.o., %	0,4757	3,2	2,1
	Kuivan latvuksen alaraja, m	— 1,465	2,2	0,9
	$R^2 = 17,7$ %			
	F = 22 (4,410)			
5	Vakio	87,09		
	Latvussuhde a.k.o., %	— 1,089	16,1	26,8
	Rungon lenkous, cm	— 2,642	4,8	2,4
	Rinnankorkeusläpimitta d, cm	0,9912	5,0	2,6
	Rungon oksaisuusluokka 1 ... 5	— 4,648	2,3	0,5
	$R^2 = 48,7$ %			
	F = 118 (4,496)			
6	Vakio	—50,23		
	Kuivan latvuksen alaraja, m	2,644	4,0	1,5
	Rungon kapeneminen, cm	1,012	2,1	0,4
	Alin kuiva oksa, m	2,430	3,3	1,0
	Oksakyhmyjen alaraja, m	4,840	2,0	0,4
	Rinnankorkeusläpimitta d, cm	0,4771	2,9	0,8
	$R^2 = 44,3$ %			
	F = 94 (5,590)			
7	Vakio	129,2		
	Latvussuhde kaarnakuorirajasta, %	0,8585	3,5	3,0
	Rungon lenkous, cm	— 6,918	4,7	5,3
	d^2, cm^2	0,03393	7,7	14,3
	Latvussuhde a.k.o., %	— 1,154	9,6	22,2
	Latvussuhde oksakyhmyrajasta, %	— 1,288	2,6	1,6
	$R^2 = 41,5$ %			
	F = 39 (5,215)			

(jatkuu)

Alue	Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Yht.	Vakio	—36,14		
	Alin kuiva oksa, m	3,705	24,9	12,8
	Rungon lenkous, cm	— 2,588	9,8	2,0
	Rinnankorkeusläpimitta d, cm	1,860	8,3	1,4
	Rungon oksaisuusluokka 1 . . . 5	— 5,378	7,0	1,0
	d^2h, $cm^2 \cdot m$	— 0,000743	5,1	0,5
	Latvussuhde kaarnakuorirajasta, %	0,1643	3,3	0,2
	$R^2 = 31{,}6\ \%$			
	$F = 256\ (6{,}3321)$			

Kun tuloksia verrataan vastaaviin ensimmäistä oksaisuuslaatuluokkaa koskeviin tuloksiin, havaitaan selitysasteiden yleensä alentuneen. Regressiokertoimien lisäksi muuttuivat useissa tapauksissa myös selittävät tekijät. Selitysasteen aleneminen heijastanee ilmeisesti sitä, että oksaisuutta lukuunottamatta monet muut laatutekijät ovat satunnaisia, ja tällöin selitysaste alenee.

Eräät viat ilmenevät johdonmukaisesti lasketuista yhtälöistä. Jaotelmasta havaitaan, että rungon lenkous on saatu tilastollisesti merkitseväksi selittäjäksi kaikkialla muualla paitsi alueella 6. Kertoimien suuruudesta nähdään, että rungon lenkouden

Taulukko 15. Regressioyhtälöt ensimmäisen laatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_1 = etäisyys alimpaan kuivaan oksaan (m), d = rinnankorkeusläpimitta (cm), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y \cdot x}$ = jäännöshajonta (%).

Table 15. Regression equations for predicting the volume percentage of the first quality class in various districts. x_1 = distance to the lowest dead branch (m), d = breast height diameter (cm), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	—65,00	—53,56	34,64	—8,60	—48,67	0,12	—51,84	—43,71
x_1	7,854	5,392	5,905	—4,799	10,86	—4,353	11,79	5,096
t	4,0	3,1	2,2	2,4	4,7	2,6	2,9	7,2
x^2_1	—0,2912	0,08118	—0,07538	0,2437	—0,1609	0,4649	—0,2564	—0,07242
t	2,9	0,8	7,3	2,0	1,1	5,5	1,5	16,0
$x_1 d$	0,04442	—0,03585	0,009748	0,1917	—0,07357	0,1779	—0,09745	0,04124
t	0,7	0,7	0,1	3,4	0,9	3,2	0,9	1,7
d	2,537	2,635	—3,422	0,8795	1,817	—0,1482	—0,1007	1,900
t	1,7	2,3	1,2	1,0	1,1	0,1	0,0	3,5
d^2	—0,03274	—0,03568	0,06968	—0,02253	—0,02120	0,000206	0,03378	—0,02726
t	1,3	1,9	1,5	1,5	0,7	0,0	0,7	3,0
R^2	33,7	39,1	19,0	17,4	44,5	45,9	39,2	34,0
F	61	72	20	17	80	100	28	343
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y,x}$	19,8	20,6	30,2	16,0	19,4	15,0	21,0	21,2

lisääntyessä yhdellä senttimetrillä ensimmäiseen laatuluokkaan kuuluvien tukkien tilavuusosuus alenee alueesta riippuen 1...7 %-yksikköä. Kokonaisaineistossa aleneminen oli 2,6 %-yksikköä. — Tämän tarkastelun oikeutus perustuu siihen, että lenkous korreloitui suhteellisen vähän muiden selittävien tekijöiden kanssa, jolloin on mahdollista tarkastella sen vaikutusta muista tekijöistä riippumattomana.

Myös Heiskasen (1954 a, s. 30) tutkimuksessa lenkous oli oksaisuuden jälkeen laatuluokkaa määräävin tekijä.

Tuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että suurin osa vaihtelusta tulee edelleen kuvatuksi keskittymällä pelkästään johonkin oksaisuustunnukseen ja johonkin kokotunnukseen. Näin ollen myös ensimmäisen laatuluokan tilavuusosuuden selittämiseksi laskettiin regressioanalyysi kiinteitä malleja käyttäen.

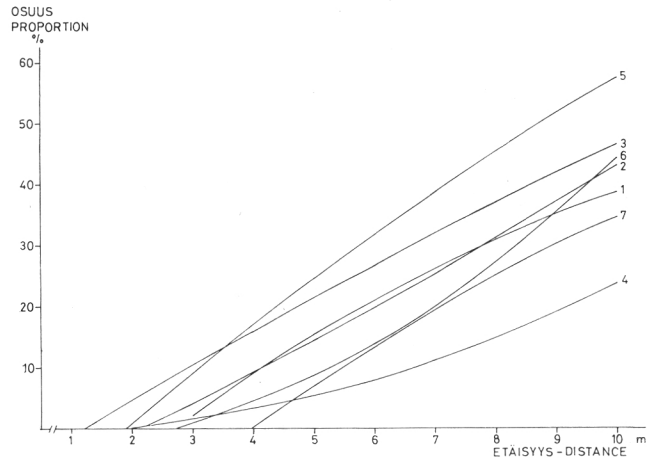
Taulukossa 15 on esitetty tulokset, kun oksaisuustunnuksena oli etäisyys alimpaan kuivaan oksaan. Vastaavasti taulukossa 16 on esitetty tulokset käytettäessä oksaisuustunnuksena etäisyyttä kuivan latvuksen alarajaan.

Valikoivan regressioanalyysin tuloksiin verrattaessa havaitaan jälleen kerran, että selitysasteet ovat samaa suuruusluokkaa huolimatta siitä, että kiinteitä malleja käytettäessä selittäjiä on olennaisesti vähemmän. Eräissä tapauksissa selitysasteet saatiin jopa suuremmiksi.

Taulukko 16. Regressioyhtälöt ensimmäisen laatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_2 = etäisyys kuivan latvuksen alarajaan (m), d = rinnankorkeusläpimitta (cm), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y.x}$ = jäännöshajonta (%).

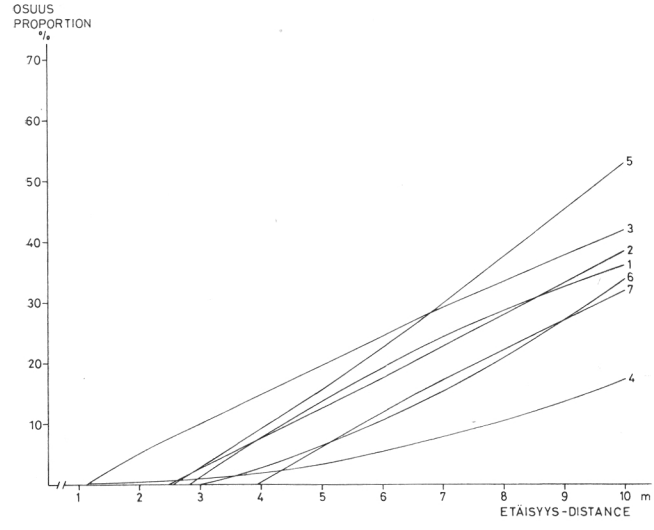
Table 16. Regression equations for predicting the volume percentage of the first quality class in various districts. x_2 = distance to the lower border of the dead crown (m), d = breast height diameter (cm), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	—72,18	—45,32	—16,74	—22,14	—75,51	8,56	—29,66	—59,85
x_2	9,233	4,794	8,053	—0,4338	9,333	—3,436	8,910	7,309
t	5,2	2,9	3,3	0,2	3,7	2,2	2,2	11,0
x^2_2	—0,2625	0,03874	—0,06913	0,2214	0,1600	0,3376	—0,1200	—0,07218
t	3,1	0,4	6,5	1,1	0,8	4,5	0,7	15,5
x_2d	—0,03479	—0,006690	—0,1049	—0,003910	—0,1689	0,1543	—0,08004	—0,05225
t	0,6	0,1	1,2	0,1	1,8	3,1	0,8	2,3
d	2,916	2,045	—0,09546	1,277	3,337	—0,8256	—0,8597	2,506
t	2,0	1,7	0,0	1,3	1,7	0,6	0,3	4,6
d^2	—0,03563	—0,02784	0,02161	—0,01506	—0,03496	0,01244	0,04116	—0,02970
t	1,4	1,5	0,4	0,9	1,0	0,5	0,9	3,2
R^2	32,3	38,5	13,9	5,7	33,3	45,4	37,5	30,5
F	57	70	17	5	49	98	26	292
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	20,0	20,7	31,2	17,1	21,3	15,1	21,3	21,7



Kuva 25. Ensimmäisen laatuluokan tukkien tilavuusosuuden riippuvuus etäisyydestä alimpaan kuivaan oksaan, kun rinnankorkeusläpimitta on 25 cm. Alueet 1 . . . 7.

Fig. 25. Regression of the volume percentage of the first quality class on the distance from the ground to the lowest dead branch when the breast height diameter is 25 cm. Districts 1 . . . 7.



Kuva 26. Ensimmäisen laatuluokan tukkien tilavuusosuuden riippuvuus etäisyydestä kuivan latvuksen alarajaan, kun rinnankorkeusläpimitta on 25 cm. Alueet 1 . . . 7.

Fig. 26. Regression of the volume percentage of the first quality class on the distance from the ground to the lower border of the dead crown when the breast height diameter is 25 cm. Districts 1 . . . 7.

Taulukkoja 15 ja 16 keskenään verrattaessa voidaan taas todeta, että tässä tapauksessa etäisyys alimpaan kuivaan oksaan on selvästi parempi mittari kuin etäisyys kuivan latvuksen alarajalle. Kaikilla alueilla selitysaste oli edellistä mittaria käytettäessä korkeampi. Myös kokonaisaineistosta laskettu yhtälö oli tällöin parempi sekä selitysasteella että jäännöshajonnalla mitaten.

Kuvissa 25 ja 26 on esitetty regressioyhtälöiden kuvaajat silloin, kun rinnankorkeusläpimitta on 25 cm. — Vaikka alueet poikkeavatkin toisistaan, näyttää kuitenkin mahdolliselta laatia kaikkia alueita varten keskimääräinen ennusteyhtälö samoilla periaatteilla.

Myös kokonaislaadun osalta tarkasteltiin ensimmäisen laatuluokan lisäksi myös kolmannen laatuluokan osuutta, tai sitä vastaten valikoivalla regressioanalyysillä ensimmäisen ja toisen laatuluokan tilavuusosuutta. Nämä tulokset on esitetty seuraavassa jaotelmassa.

Valikoivalla regressioanalyysillä eri alueille lasketut yhtälöt ensimmäisen ja toisen laatuluokan tukkien tilavuusosuuden (%) selittämiseksi. Tekijät ovat siinä järjestyksessä kun ne ovat tulleet yhtälöön (poistuneita lukuunottamatta).

Alue	Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
1	Vakio	186,3		
	Latvussuhde k.l.a., %	— 0,7686	3,2	1,0
	Latvussuhde a.k.o., %	— 0,8188	3,2	1,0
	Rungon oksaisuusluokka 1 ... 5	—14,42	5,1	2,6
	Elävän latvuksen alaraja, m	— 1,524	3,7	1,4
	Oksakyhmyjen alaraja, m	12,82	2,4	0,6
	Rungon lenkous, cm	— 3,779	2,4	0,6
	kd^2, cm · cm^2	0,001057	2,1	0,4
	R^2 = 40,2 %			
	F = 57 (7,596)			
2	Vakio	32,98		
	Kuivan latvuksen alaraja, m	3,800	4,7	1,8
	Rungon lenkous, cm	— 6,988	4,7	1,7
	Latvussuhde a.k.o., %	— 0,6839	3,9	1,2
	Rinnankorkeusläpimitta d, cm	3,706	5,7	2,6
	d^2h, cm^2 · m	— 0,001749	4,5	1,6
	Rungon oksaisuusluokka 1 ... 5	— 8,589	3,8	1,1
	R^2 = 56,0 %			
	F = 118 (6,557)			
3	Vakio	68,65		
	Rungon oksaisuusluokka 1 ... 5	—15,26	5,3	5,7
	Alin kuiva oksa, m	3,291	3,3	2,2
	Alin elävä oksa, m	— 2,089	3,4	2,4
	Rungon lenkous, cm	— 1,688	2,0	0,8
	Latvussuhde k.l.a., %	0,4323	2,1	0,9
	R^2 = 12,9 %			
	F = 12 (5,421)			

(jatkuu)

Alue	Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
4	Vakio	37,35		
	Alin kuivao ksa, m	6,227	7,0	9,5
	Rungon lenkous, cm	— 3,478	4,5	3,9
	Rungon oksaisuusluokka 1 . . . 5	— 6,593	2,2	0,9
	R^2 = 20,7 %			
	F = 36 (3,411)			
5	Vakio	228,6		
	Latvussuhde k.l.a., %	— 0,8392	5,2	3,1
	Latvussuhde a.k.o., %	— 0,9455	6,2	4,6
	Latvussuhde kaarnakuorirajasta, %	0,4182	2,4	0,7
	Rungon oksaisuusluokka 1 . . . 5	— 9,643	2,8	0,9
	Latvussuhde a.e.o., %	0,4592	3,3	1,3
	Rungon lenkous, cm	— 2,069	2,4	0,7
	Rinnankorkeusläpimitta d, cm	— 6,203	2,5	0,7
	d^2	0,1050	2,3	0,6
	R^2 = 42,0 %			
	F = 45 (8,492)			
6	Vakio	72,49		
	Alin kuiva oksa, m	4,932	5,0	2,1
	Latvussuhde k.l.a., %	— 0,7916	4,3	1,6
	Rungon oksaisuusluokka 1 . . . 5	— 5,130	2,4	0,5
	kd, cm · cm	0,03687	2,2	0,4
	R^2 = 49,8 %			
	F = 147 (4,591)			
7	Vakio	350,9		
	Latvussuhde k.l.a., %	— 4,670	3,1	3,0
	Rungon lenkous, cm	— 5,318	2,9	2,6
	Pituus, m	6,471	2,9	2,6
	Kuivan latvuksen alaraja, m	—15,43	2,3	1,7
	R^2 = 33,6 %			
	F = 27 (4,216)			
Yht.	Vakio	86,48		
	Latvussuhde a.k.o., %	— 0,6187	8,2	1,3
	Rungon lenkous, cm	— 3,781	10,5	2,1
	Rungon oksaisuusluokka 1 . . . 5	—14,63	12,7	3,1
	Kuivan latvuksen alaraja, m	2,180	5,8	0,6
	Latvussuhde oksakyhmyrajasta, %	0,6547	6,0	0,7
	Elävän latvuksen alaraja, m	— 0,6454	2,3	0,1
	d^2, cm^2	0,02617	5,5	0,6
	Kaarnakuoren alaraja, m	— 1,453	3,8	0,3
	kh, cm · m	0,2325	3,6	0,2
	kd, cm · cm	— 0,1376	3,3	0,2
	Pituus, m	— 1,662	3,8	0,3
	R^2 = 36,5 %			
	F = 173 (11,3316)			

Voidaan havaita, että lenkouden lisäksi olennaiseksi vikatekijäksi saatiin myös metsäalan työehtosopimuksen mukaan määritetty rungon oksaisuusluokka. Vastaava tulos saatiin aiemmin tarkasteltaessa oksaisuuslaatuluokkia. Taulukosta 12 havaitaan, että rungon oksaisuusluokan heiketessä yhdellä luokalla ensimmäisen ja toisen laatuluokan tukkien tilavuusosuus alenee alueesta riippuen 5. . .14 %-yksikköä. Kokonaisaineistossa alenema oli 14 %-yksikköä. — Ainoastaan alueella 7 rungon oksaisuusluokkaa ei saatu tilastollisesti merkitseväksi tekijäksi.

Kun objektiivisesti mitattaviin tekijöihin pyrittäessä rungon oksaisuusluokka ei voi tulla kyseeseen, myös tässä yhteydessä laskettiin vastaavat tulokset kiinteillä malleilla käyttämällä selittäjinä eri oksaisuustunnuksia ja puun kokoa. Taulukossa 17 on esitetty tulokset, kun oksaisuustunnuksena oli etäisyys alimpaan kuivaan oksaan. Taulukossa 18 on vastaavat tulokset silloin, kun mittarina oli etäisyys kuivan latvuksen alarajalle.

Valikoivaa regressioanalyysiä ja kiinteitä malleja vertaamalla voidaan todeta myös tässä yhteydessä, että ensimmäiseen ja toiseen laatuluokkaan kuuluvien tukkien tilavuusosuuden ennustaminen on käytännöllisesti katsoen kaksidimensionaalinen ongelma: oksaisuustunnuksella ja kokotunnuksella saadaan selitetyksi likimain samanlainen osa varianssista kuin käyttämällä hyvin monimutkaisia ja käytännössä

Taulukko 17. Regressioyhtälöt kolmannen laatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_1 = etäisyys alimpaan kuivaan oksaan (m), d = rinnankorkeusläpimitta (cm), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y \cdot x}$ = jäännöshajonta (%).

Table 17. Regression equations for predicting the volume percentage of the third quality class in various districts. x_1 = distance to the lowest dead branch (m), d = breast height diameter (cm), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	15,22	150,76	—92,09	8,44	—8,68	68,35	—38,33	37,35
x_1	—25,53	—20,32	—6,484	—3,613	—29,78	—14,74	—15,73	—14,69
t	9,3	9,0	2,6	0,7	8,5	4,1	4,3	13,9
x^2_1	1,087	0,6429	0,05446	0,02214	1,135	—0,1100	0,6218	0,1062
t	7,7	5,0	5,6	0,1	5,3	0,6	4,1	15,8
x_1d	0,1390	0,2120	0,06302	—0,04611	0,3267	0,2928	0,06721	0,2350
t	1,5	3,1	0,7	0,3	2,5	2,5	0,7	6,4
d	7,665	—2,725	10,63	4,326	9,550	2,734	8,825	4,109
t	3,7	1,8	4,1	1,9	3,8	1,0	3,6	5,2
d^2	—0,1426	0,03112	—0,1829	—0,07647	—0,1809	—0,06930	—0,1416	—0,08581
t	4,1	1,3	4,1	2,1	3,8	1,4	3,4	6,3
R^2	38,7	38,2	15,4	7,5	37,2	28,9	34,6	26,8
F	75	69	15	7	59	48	23	244
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	27,9	26,9	28,4	40,3	29,3	32,3	19,1	31,5

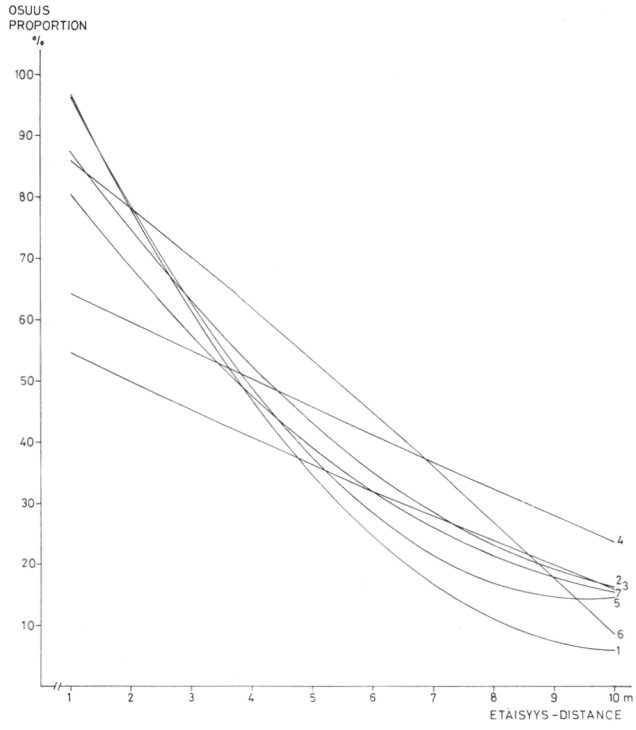
Taulukko 18. Regressioyhtälöt kolmannen laatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_2 = etäisyys kuivan latvuksen alarajaan (m), d = rinnankorkeusläpimitta (cm), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y.x}$ = jäännöshajonta (%).

Table 18. Regression equations for predicting the volume percentage of the third quality class in various districts. x_2 = distance to the lower border of the dead crown (m), d = breast height diameter (cm), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	—2,798	141,80	—65,71	—15,40	43,09	74,93	—62,45	41,78
x_2	—22,52	—18,11	—6,142	8,180	—32,88	—16,92	—11,92	—14,03
t	9,0	8,5	2,7	1,2	9,4	5,1	3,3	14,5
x^2_2	0,9151	0,4994	0,04588	—0,7055	1,277	0,02988	0,4055	0,1022
t	7,7	4,4	4,7	1,5	4,8	0,2	2,7	15,0
x_2d	0,1135	0,1904	0,07758	—0,1064	0,3157	0,3437	0,04876	0,2176
t	1,4	3,0	1,0	0,9	2,4	3,2	0,5	6,6
d	8,395	—2,141	8,720	4,100	8,210	2,873	9,579	4,048
t	4,1	1,4	3,1	1,7	3,0	1,0	3,9	5,0
d^2	—0,1492	0,02155	—0,1515	—0,06964	—0,1703	—0,07816	—0,1490	—0,08455
t	4,3	0,9	3,2	1,8	3,5	1,6	3,5	6,2
R^2	37,8	39,0	11,7	4,3	35,3	30,4	33,0	25,8
F	73	71	11	4	54	52	21	231
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	28,1	26,8	29,1	41,0	29,7	32,0	19,3	31,7

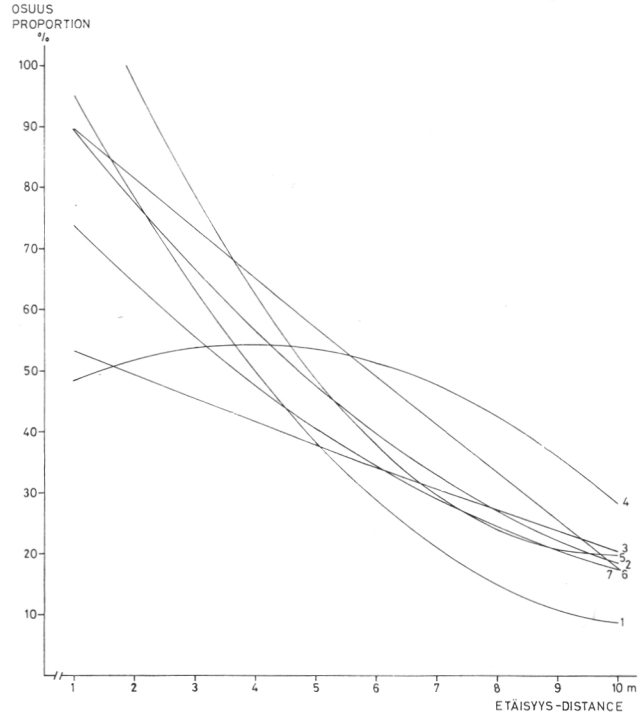
käyttökelvottomia valikoivan regressioanalyysin yhtälöitä. Kiinteillä malleilla ei ole juuri eroa, joskin alueittain saadut tulokset viittaavat siihen, että etäisyys alimpaan kuivaan oksaan on asetettava vaihtoehtoisen oksaisuustunnuksen edelle. — Kaiken kaikkiaan näyttää kuitenkin siltä, että kolmannen laatuluokan tilavuusosuuden ennustaminen onnistuu heikohkosti. Alueittain saadut tulokset ovat kuitenkin hämmästyttävän yhtäpitäviä, kuten kuvista 27 ja 28 voidaan todeta. Erityisesti kuvan 27 esittämä tulos viittaa siihen, että heikosta selitysasteesta huolimatta voidaan harkita yhteisen regressioyhtälön laatimista eri oloja varten. — Kuvassa 28 näkyvään alueen 4 poikkeukselliseen kuvaajaan ei kannata kiinnittää liikaa huomiota hyvin alhaisesta selitysasteesta (4,3 %) johtuen.

Edellä esitellyissä kiinteissä regressiomalleissa on oksaisuuden tunnuksena käytetty etäisyyttä maasta alimpaan kuivaan oksaan tai latvuksen alarajaan sekä koon tunnuksena rinnankorkeusläpimittaa. Mikäli näiden tunnusten lisäksi mitataan myös puun pituus, oksaisuustunnuksena voidaan käyttää vastaavaa latvussuhdetta sekä rinnankorkeusläpimitan sijasta tukkiosan tilavuutta tai haluttaessa koko rungon tilavuutta. Teoreettisesti voisi olettaa, että pituuden lisämittaus mahdollistaisi paremmin ennustettavissa olevat eri tukkilaatujen osuudet.



Kuva 27. Kolmannen laatuluokan tukkien tilavuusosuuden riippuvuus etäisyydestä alimpaan kuivaan oksaan, kun rinnankorkeusläpimitta on 25 cm. Alueet 1 . . . 7.

Fig. 27. Regression of the volume percentage of the third quality class on the distance from the ground to the lowest dead branch when the breast height diameter is 25 cm. Districts 1 . . . 7.



Kuva 28. Kolmannen laatuluokan tukkien tilavuusosuuden riippuvuus etäisyydestä kuivan latvuksen alarajaan, kun rinnankorkeusläpimitta on 25 cm. Alueet 1 . . . 7.

Fig. 28. Regression of the volume percentage of the third quality class on the distance from the ground to the lower border of the dead crown when the breast height diameter is 25 cm. Districts 1 7

Taulukko 19. Regressioyhtälöt ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_3 = latvussuhde alimman kuivan oksan mukaan (%), z_2 = tukkiosan tilavuus (m^3), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y.x}$ = jäännöshajonta (%).

Table 19. Regression equations for predicting the volume percentage of the first knottiness class in various districts. x_3 = crown ratio determined from the lowest dead branch (%), z_2 = volume of the timber part of the stem (m^3), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	101,05	113,24	125,55	62,30	147,24	282,96	148,05	92,97
x_3	—1,168	—1,788	—0,9485	—0,9693	—1,930	—6,052	—1,562	—0,8781
t	1,4	3,2	8,1	1,1	3,8	10,2	1,3	22,5
x^2_3	—0,002275	0,004471	—0,003828	0,002003	0,002327	0,03141	—0,006606	—0,003510
t	0,4	1,2	10,4	0,3	0,7	7,9	0,7	19,6
x_3z_2	—0,009945	—0,6263	0,01831	—0,3177	—0,05558	—0,2158	1,129	—0,2216
t	0,1	3,3	0,1	1,2	0,2	1,8	2,6	3,3
z_2	55,10	91,65	—7,260	57,02	19,48	30,93	—26,33	57,22
t	6,4	6,0	0,2	2,9	0,7	2,9	0,7	10,4
z^2_2	—19,48	—15,812	10,80	—16,07	2,149	4,251	—15,52	—15,64
t	2,8	2,5	0,5	2,6	0,1	0,5	1,0	5,0
R^2	46,6	57,0	33,5	16,4	61,8	56,8	59,5	47,6
F	104	148	42	16	160	155	63	604
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	19,5	18,9	27,7	23,6	18,8	15,9	18,9	21,6

Taulukoissa 19. . .26 on esitetty tulokset erilaisista kiinteistä malleista. Näistä taulukoista voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset.

Voidaan ensinnäkin havaita, että latvussuhteen käyttäminen todellakin parantaa selitysastetta ja pienentää jäännöshajontaa absoluuttiseen etäisyystunnukseen verrattuna. Vaikutus on kuitenkin niin vähäinen, että on ilman tarkempia laskelmiakin selvää, ettei pituuden mittaus kannata hankaluutensa takia. Pieniä käyttömahdollisuuksia on tosin silloin, kun mittaus perustuu alimpaan kuivaan oksaan. Tällöin saadaan yleensä muutaman prosenttiyksikön suuruisia selitysasteen kohoamisia. Tämän vuoksi nämä yhtälöt on myös esitetty.

Edelleen havaitaan vertaamalla pareittain taulukkoja 19 ja 20, 21 ja 22, 23 ja 24 sekä 25 ja 26, että mittaus alimman kuivan oksan perusteella on suositeltavampi kuin mittaus kuivan latvuksen alarajan perusteella. Erot eivät ole tosin suuret, mutta esiintyvät riittävän usein tämän johtopäätöksen tekemiseksi.

Edelleen voidaan taulukkoja vertaamalla todeta, että eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien tilavuusosuuden ennustaminen onnistuu selvästi heikommin kuin eri oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvien tukkien osuuden ennustaminen. Tämä sama tulos

Taulukko 20. Regressioyhtälöt ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_4 = latvussuhde kuivan latvuksen alarajan mukaan (%), z_2 = tukkiosan tilavuus (m^3), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y.x}$ = jäännöshajonta (%).

Table 20. Regression equations for predicting the volume percentage of the first knottiness class in various districts. x_4 = crown ratio determined from the lower border of the dead crown (%), z_2 = volume of the timber part of the stem (m^3), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	84,27	122,10	110,97	107,77	113,89	230,41	162,86	83,53
x_4	—0,8356	—2,195	—0,9175	—2,537	—1,991	—4,972	—1,938	—0,8484
t	1,2	4,3	8,2	1,8	2,9	9,9	1,6	22,2
x^2_4	—0,003746	0,007913	—0,003362	0,01425	0,006537	0,02605	—0,003718	—0,003168
t	0,8	2,2	8,5	1,4	1,3	7,5	0,4	16,8
x_4z_2	—0,03485	—0,6574	0,2166	—0,08301	—0,6529	—0,2209	1,239	—0,1598
t	0,3	3,7	1,1	0,5	3,4	1,8	2,9	2,7
z_2	51,29	90,37	—0,07304	37,61	87,14	25,69	—49,91	55,86
t	5,9	6,2	0,0	3,3	3,4	2,4	1,4	11,1
z^2_2	—18,75	—14,18	—2,216	—16,75	—18,85	6,643	—7,325	—18,58
t	2,8	2,3	0,1	2,5	1,0	0,7	0,5	5,7
R^2	47,0	57,9	24,3	8,1	43,7	57,9	58,3	42,0
F	106	153	27	7	77	162	60	481
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	19.4	18,7	29,5	24,7	22,8	15,7	19,2	22,7

saatiin myös aiemmin käyttämällä eri oksaisuus- ja kokotunnuksia. Kun viitteet ovat näin yhdenmukaiset, vaikuttaa perustellulta käyttää oksaisuuslaatuluokkien osuuksia analyysin pohjana ja ottaa oksaisuuden lisäksi esiintyvät muut viat erikseen huomioon. Tällä tavoin voidaan olennaisesti lisätä regressioyhtälöiden tarkkuutta.

Millainen on sitten käytännöllinen sovellutus edellä esitetyistä tuloksista?

Lähtökohtana voidaan pitää taulukoissa 11 ja 13 esitettyjä kokonaisaineistosta laskettuja yhtälöitä. Alueiden erottamiseen ei nimittäin kannattane mennä, koska jopa Pohjois-Suomea koskevat tulokset olivat riittävässä määrin samankaltaisia eteläsuomalaisten tulosten kanssa. Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden ennustaminen onnistuu ilmeisesti paremmin kuin kolmannen oksaisuuslaatuluokan osuuden ennustaminen. Edellisessä tapauksessa selitysaste oli nimittäin 46,6 % ja jäännöshajonta 21,8 %-yksikköä. Jälkimmäisessä tapauksessa selitysaste oli 33,0 % ja jäännöshajonta 30,1 %-yksikköä.

Taulukoissa 27 ja 28 on esitetty yhtälöiden antamat tulokset taulukoituina. Tuloksia on muunnettu ainoastaan siten, että negatiiviset osuudet on merkitty nollaksi. Muita muutoksia ei ole tehty, joskin tiettyihin läpimitan aiheuttamiin

Taulukko 21. Regressioyhtälöt kolmannen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_3 = latvussuhde alimman kuivan oksan mukaan (%), z_2 = tukkiosan tilavuus (m^3), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y.x}$ = jäännöshajonta (%).

Table 21. Regression equations for predicting the volume percentage of the third knottiness class in various districts. x_3 = crown ratio determined from the lowest dead branch (%), z_2 = volume of the timber part of the stem (m^3), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	93,03	45,56	—62,39	—37,31	40,27	—184,64	10,45	—95,57
x_3	—4,396	—2,369	0,7585	0,5243	—2,691	3,579	1,880	1,462
t	4,1	3,5	6,9	0,4	3,6	3,4	1,8	28,2
x^2_3	0,0418	0,03332	0,002780	0,007218	0,03320	—0,006427	0,02936	0,004941
t	6,5	7,0	8,1	0,8	6,5	0,9	3,8	20,8
x_3z_2	—1,236	—1,501	—0,1714	—0,6787	—0,5964	—1,488	—1,292	—1,001
t	8,5	6,4	0,8	1,7	1,7	7,0	3,4	11,2
z_2	112,0	88,61	121,2	67,29	129,2	180,6	129,8	107,4
t	9,8	4,7	4,3	2,2	3,3	9,5	4,0	14,7
z^2_2	—22,35	8,145	—91,07	—21,77	—76,57	72,17	—28,92	—31,28
t	2,5	1,1	4,4	2,3	3,3	4,4	2,1	7,5
R^2	47,4	54,1	23,4	17,3	44,4	45,8	45,4	38,9
F	108	132	26	17	79	100	36	423
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	25,6	23,4	25,8	36,1	27,8	27,9	16,6	28,7

Taulukko 22. Regressioyhtälöt kolmannen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_4 = latvussuhde kuivan latvuksen alarajan mukaan (%), z_2 = tukkiosan tilavuus (m^3), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y.x}$ = jäännöshajonta (%).

Table 22. Regression equations for predicting the volume percentage of the third class in various districts. x_4 = crown ratio determined from the lower border of the dead crown (%), z_2 = volume of the timber part of the stem (m^3), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	65,86	34,92	—49,50	—105,44	92,26	—132,82	—33,40	—78,38
x_4	—3,586	—1,897	0,7091	3,263	—3,801	2,396	—0,6563	1,357
t	3,8	3,1	7,0	1,5	4,4	2,8	0,7	27,7
x^2_4	0,04222	0,02948	0,002427	—0,01477	0,04215	0,001023	0,02052	0,004659
t	6,5	6,6	6,7	0,9	6,7	0,2	2,7	19,2
x_4z_2	—1,120	—1,270	—0,2260	—0,5881	0,04169	—1,578	—1,301	—0,7402
t	7,8	5,7	1,3	2,5	0,2	7,6	3,6	9,8
z_2	114,9	75,94	108,9	45,80	64,82	183,3	143,9	83,08
t	10,1	4,2	4,1	2,6	2,1	10,0	4,6	12,9
z^2_2	—28,39	3,319	—81,43	—17,56	—74,73	—70,51	—36,84	—31,20
t	3,2	0,4	3,7	1,7	3,1	4,4	2,8	7,4
R^2	47,8	55,4	17,5	8,6	43,7	48,2	47,1	36,7
F	109	139	18	8	77	110	38	386
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	25,5	23,0	26,8	37,9	28,0	27,3	16,3	29,2

Taulukko 23. Regressioyhtälöt ensimmäisen laatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_3 = latvussuhde alimman kuivan oksan mukaan (%), z_2 = tukkiosan tilavuus (m^3), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y.x}$ = jäännöshajonta (%).

Table 23. Regression equations for predicting the volume percentage of the first quality class in various districts. x_3 = crown ratio determined from the lowest dead branch (%), z_2 = volume of the timber part of the stem (m^3), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	56,73	113,40	52,57	22,27	82,16	213,07	43,94	56,63
x_3	—0,3128	—2,049	—0,3331	—0,4243	—1,182	—4,731	0,2309	—0,5148
t	0,4	3,4	2,6	0,7	2,3	8,4	0,2	13,5
x^2_3	—0,006107	0,007668	—0,002512	0,001430	0,001549	0,02569	—0,01212	—0,002710
t	1,1	1,8	6,2	0,3	0,4	6,9	1,2	15,5
x_3z_2	0,01756	—0,3039	—0,6271	—0,4396	—0,4553	—0,3139	0,3516	—0,3064
t	0,2	1,5	2,4	3,9	1,9	2,7	0,7	4,6
z_2	50,29	52,45	77,55	53,91	83,49	30,78	18,81	58,23
t	5,8	3,2	2,3	3,9	3,1	3,0	0,5	10,8
z^2_2	—22,69	—8,026	—16,23	—8,133	—30,02	12,98	—9,821	—12,68
t	3,3	1,2	0,7	1,9	1,9	1,5	0,6	4,1
R^2	35,0	39,0	19,0	11,1	47,1	45,8	38,1	34,0
F	65	71	20	10	88	100	26	343
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	19,6	20,6	30,2	16,6	19,0	15,0	21,2	21,2

Taulukko 24. Regressioyhtälöt ensimmäisen laatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_4 = latvussuhde kuivan latvuksen alarajan mukaan (%), z_2 = tukkiosan tilavuus (m^3), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y.x}$ = jäännöshajonta (%).

Table 24. Regression equations for predicting the volume percentage of the first quality class in various districts. x_4 = crown ratio determined from the lower border of the dead crown (%), z_2 = volume of the timber part of the stem (m^3), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	56,58	103,11	49,33	24,54	68,75	156,92	83,23	50,49
x_4	—0,4091	—1,893	—0,3748	—0,5192	—1,318	—3,471	—1,049	—0,4932
t	0,6	3,4	3,2	0,5	2,1	7,2	0,8	13,5
x^2_4	—0,004974	0,007259	—0,002221	0,002520	0,004170	0,01880	—0,001590	—0,002478
t	1,0	1,8	5,3	0,3	0,9	5,6	0,2	13,7
x_4z_2	0,05196	—0,3620	—0,2797	—0,2625	—0,6527	—0,3683	0,2500	—0,2645
t	0,5	1,8	1,4	2,5	3,8	3,2	0,5	4,7
z_2	45,29	53,13	64,35	34,06	110,4	29,82	14,13	56,20
t	5,2	3,3	2,1	4,4	4,7	3,0	0,3	11,7
z^2_2	—23,50	—6,084	—27,10	—7,292	—43,20	15,18	—4,740	—14,60
t	3,4	0,9	1,1	1,6	2,4	1,7	0,3	4,7
R^2	34,7	38,6	13,5	6,8	37,3	45,5	36,7	30,6
F	63	70	13	6	59	99	25	293
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	19,7	20,7	31,2	17,0	20,7	15,0	21,4	21,7

Taulukko 25. Regressioyhtälöt kolmannen laatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_3 = latvussuhde alimman kuivan oksan mukaan (%), z_2 = tukkiosan tilavuus (m^3), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y.x}$ = jäännöshajonta (%).

Table 25. Regression equations for predicting the volume percentage of the third quality class in various districts. x_3 = crown ratio determined from the lowest dead branch (%), z_2 = volume of the timber part of the stem (m^3), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	117,98	44,10	—49,33	—21,01	38,20	—186,88	43,37	—79,94
x_3	—5,127	—2,209	0,6187	0,8402	—2,198	3,745	—2,899	1,252
t	4,7	2,9	5,2	0,6	2,7	3,2	2,4	22,5
x^2_3	0,05305	0,02887	0,002331	0,000663	0,02790	—0,009889	0,03416	0,004267
t	7,1	5,3	6,2	0,1	5,0	1,3	3,8	16,7
x_3z_2	—1,194	—0,9323	—0,04121	—0,1660	—0,5045	—1,214	—0,9377	—0,8035
t	8,1	3,5	0,2	0,4	1,3	5,1	2,2	8,3
z_2	105,1	78,63	106,6	34,69	113,8	163,7	133,2	97,50
t	9,1	3,6	3,4	1,0	2,7	7,8	3,6	12,4
z^2_2	—18,07	—9,013	—85,41	—26,66	—70,27	—66,89	—42,46	—32,68
t	2,0	1,0	3,7	2,5	2,8	3,7	2,7	7,3
R^2	46,6	39,3	16,5	8,3	34,5	34,9	34,9	29,6
F	104	72	17	7	52	63	23	279
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	26,0	26,7	28,3	40,2	29,9	30,9	19,0	30,9

Taulukko 26. Regressioyhtälöt kolmannen laatuluokan tilavuusosuuden (%) ennustamiseksi eri alueilla. x_4 = latvussuhde kuivan latvuksen alarajan mukaan (%), z_2 = tukkiosan tilavuus (m^3), t = t-arvo, R^2 = selitysaste (%), F = F-arvo, DF = vapausasteet F-testissä, $s_{y.x}$ = jäännöshajonta (%).

Table 26. Regression equations for predicting the volume percentage of the third quality class in various districts. x_4 = crown ratio determined from the lower border of the dead crown (%), z_2 = volume of the timber part of the stem (m^3), t = t-value, R^2 = coefficient of determination (%), F = F-value, DF = degrees of freedom, $s_{y.x}$ = standard error of estimate (%).

Muuttuja *Variable*	Alue — *District*							Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	
Vakio — *Constant*	80,56	20,14	—38,53	—80,35	102,46	—149,17	—0,71	—60,63
x_4	—4,040	—1,358	0,5783	3,269	—3,641	2,951	—1,552	1,101
t	4,3	1,9	5,2	1,4	4,0	3,0	1,3	20,8
x^2_4	0,04525	0,02239	0,002002	—0,02052	0,03866	—0,005246	0,02372	0,003853
t	6,8	4,4	5,1	1,2	5,7	0,8	2,7	14,7
x_4z_2	—1,084	—0,7118	—0,1106	—0,1131	0,1619	—1,281	—0,8412	—0,4737
t	7,4	2,8	0,6	0,4	0,6	5,5	2,0	5,8
z_2	108,2	65,87	97,75	29,72	46,61	167,1	137,7	71,48
t	9,4	3,2	3,4	1,6	1,4	8,2	3,8	10,3
z^2_2	—23,80	—12,73	—76,08	—26,02	—64,57	—66,55	—48,73	—33,81
t	2,6	1,5	3,2	2,4	2,5	3,7	3,1	7,5
R^2	46,6	40,4	12,1	3,7	33,5	36,8	33,5	26,4
F	105	76	12	3	50	69	22	238
DF	5,598	5,558	5,421	5,409	5,495	5,590	5,215	5,3322
$s_{y.x}$	26,0	26,5	29,0	41,1	30,1	30,4	19,2	31,6

Taulukko 27. Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta ja etäisyydestä alimpaan kuivaan oksaan (x_1).

Table 27. Volume percentage of the first knottiness class according to the breast height diameter and the distance to the lowest dead branch (x_1).

x_1	Rinnankorkeusläpimitta, cm — *Breast height diameter, cm*																									
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
dm	Tilavuusosuus, % — *Volume percentage*																										
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	2	2
25	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	5	6	6	7	7	7	7	8	8	8	7	7	7	7	6	6
30	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	10	10	11	11	11	11	12	12	11	11	11	11	11	10	10
35	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14
40	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	16	17	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	18	18	17
45	10	11	12	14	15	16	17	18	19	19	20	21	21	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	22	22	22	21
50	13	15	16	17	18	20	21	22	22	23	24	25	25	26	26	26	27	27	27	27	27	27	27	26	26	25	25
55	17	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28	28	29	29	30	30	30	30	31	31	31	30	30	30	30	29	29
60	21	22	23	25	26	27	28	29	30	31	31	32	32	33	33	34	34	34	34	34	34	34	34	34	33	33	32
65	24	26	27	28	29	31	32	33	38	34	35	36	36	37	37	37	38	38	38	38	38	38	38	37	37	36	36
70	28	29	31	32	33	34	35	36	37	38	38	39	40	40	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	40	40
75	31	33	34	35	37	38	39	40	40	41	42	43	43	44	44	44	45	45	45	45	45	45	45	44	44	44	43
80	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45	45	46	47	47	48	48	48	48	48	49	48	48	48	48	48	47	47
85	38	40	41	42	43	45	46	47	47	48	49	50	50	51	51	51	52	52	52	52	52	52	52	51	51	51	50
90	42	43	44	46	47	48	49	50	51	52	52	53	54	54	54	55	55	55	55	55	55	55	55	55	54	54	53
95	45	46	48	49	50	51	52	53	54	55	56	56	57	57	58	58	58	59	59	59	59	59	58	58	58	57	57
100	48	50	51	52	53	55	56	57	57	58	59	60	60	61	61	61	62	62	62	62	62	62	62	61	61	61	60
105	52	53	54	56	57	58	59	60	61	61	62	63	63	64	64	65	65	65	65	65	65	65	65	65	64	64	63
110	55	56	58	59	60	61	62	63	64	65	65	66	67	67	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	67	67
115	58	59	61	62	63	64	65	66	67	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72	72	72	72	71	71	71	70	70
120	61	62	64	65	66	67	68	69	70	71	72	72	73	73	74	74	74	75	75	75	75	75	74	74	74	73	73
125	64	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	75	76	76	77	77	78	78	78	78	78	78	78	77	77	77	76
130	67	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	78	79	80	80	80	81	81	81	81	81	81	81	80	80	80	79
135	70	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	81	82	82	83	83	84	84	84	84	84	84	84	83	83	83	82
140	73	74	76	77	78	79	80	81	82	83	84	84	85	85	86	86	86	87	87	87	87	87	87	86	86	86	85
145	76	77	79	80	81	82	83	84	85	86	87	87	88	88	89	89	89	90	90	90	90	90	89	89	89	88	88
150	79	80	82	83	84	85	86	87	88	89	89	90	91	91	92	92	92	92	93	93	93	92	92	92	92	91	91

muutoksiin suhtautuu epäillen. Tärkein loogisuusvaatimus, parhaiden tukkien osuuden lisääntyminen ja heikompien aleneminen alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden kasvaessa, toteutuu kuitenkin jokaisessa läpimittaluokassa. — Itse asiassa läpimitan vaikutus on tähän verrattuna vähäinen.

Taulukot on esitetty täydellisessä muodossaan siitä huolimatta, että on jouduttu menemään aineiston vaihteluvälin ulkopuolelle. Niinpä tietenkään ei ole ollut käytettävissä ainoatakaan havaintoa 17 cm läpimittaisesta rungosta, jossa etäisyys alimpaan kuivaan oksaan olisi ollut 15 m tai edes lähelle sitä. Kun kuitenkin saatujen ennustearvojen järkevyys säilyi reunoille saakka, karsimista ei tehty.

Toisen oksaisuuslaatuluokan tilavuus saadaan yksinkertaisesti laskemalla taulukkojen 27 ja 28 vastaavat luvut yhteen ja vähentämällä summa luvusta 100. Tällainen menettely on myös sikäli oikeutettu, ettei pelkän toisen laatuluokan tilavuusosuutta pystytty juuri selittämään regressioanalyysillä, kuten aiemmin jo mainittiin.

Taulukko 28. Kolmannen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta ja etäisyydestä alimpaan kuivaan oksaan (x_1).

Table 28. Volume percentage of the third knottiness class according to the breast height diameter and the distance to the lowest dead branch (x_1).

x_1	Rinnankorkeusläpimitta, cm — *Breast height diameter, cm*																									
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
dm	Tilavuusosuus, % — *Volume percentage*																										
10	81	82	82	83	83	84	84	84	83	83	82	82	81	80	79	77	76	74	72	70	68	66	64	61	58	55	52
15	75	76	77	78	78	78	79	79	79	78	78	77	77	76	75	73	72	71	69	67	65	63	61	58	56	53	50
20	69	70	71	72	73	73	74	74	74	74	73	73	72	72	71	70	68	67	66	64	62	60	58	55	53	50	48
25	64	65	66	67	68	68	69	69	69	69	69	69	68	68	67	66	65	64	62	61	59	57	55	53	51	48	45
30	58	59	61	62	63	63	64	64	65	65	65	65	64	64	63	62	61	60	59	58	56	54	52	50	48	46	43
35	53	54	55	57	58	58	59	60	60	60	61	61	60	60	59	59	58	57	56	55	53	51	50	48	46	43	41
40	47	49	50	51	53	54	54	55	56	56	56	56	56	56	56	55	55	54	53	52	50	49	47	45	43	41	39
45	42	43	45	46	48	49	50	51	51	52	52	52	53	52	52	52	51	50	50	49	47	46	45	43	41	39	37
50	36	38	40	41	43	44	45	46	47	48	48	49	49	49	49	48	48	47	47	46	45	43	42	41	39	37	35
55	31	33	35	37	38	39	41	42	43	44	44	45	45	45	45	45	45	44	44	43	42	41	40	38	37	35	33
60	26	28	30	32	33	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	33	31
65	20	23	25	27	29	30	32	33	34	35	36	37	38	38	38	39	39	38	38	37	37	36	35	34	33	31	30
70	15	18	20	22	24	26	28	29	30	32	33	33	34	35	35	35	35	35	35	35	34	34	33	32	31	29	28
75	10	13	15	17	20	21	23	25	26	28	29	30	31	31	32	32	33	33	33	32	32	31	31	30	29	28	26
80	5	8	10	13	15	17	19	21	22	24	25	26	27	28	29	29	30	30	30	30	30	29	29	28	27	26	25
85	0	3	6	8	11	13	15	17	18	20	21	23	24	25	26	26	27	27	27	27	27	27	26	26	25	24	23
90	0	0	1	4	6	9	11	13	15	16	18	19	21	22	23	23	24	24	25	25	25	25	24	24	23	23	22
95	0	0	0	0	2	4	7	9	11	13	14	16	17	19	20	20	21	22	22	23	23	23	23	22	22	21	20
100	0	0	0	0	0	0	3	5	7	9	11	19	14	15	17	18	19	19	20	20	21	21	21	20	20	20	19
105	0	0	0	0	0	0	0	1	3	6	7	9	11	12	14	15	16	17	18	18	19	19	19	19	19	18	18
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	6	8	9	11	12	13	14	15	16	16	17	17	17	17	17	16
115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	5	7	8	10	11	12	13	14	15	15	15	16	16	16	15
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	5	7	8	10	11	12	13	13	14	14	14	14	14
125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	5	6	8	9	10	11	12	12	13	13	13	13
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	5	7	8	9	10	11	11	12	12	12
135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	5	6	7	8	9	10	10	11	11
140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	6	7	8	9	9	10	10
145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	5	6	7	8	9	9
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	5	6	7	8	9

35. Leimikoittainen tarkastelu

351. Ennusteen osuvuus ja otoksen koko

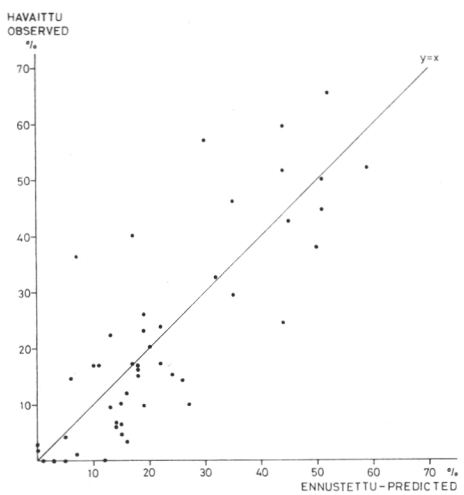
Edellä esitetyt tulokset läpimitan ja alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden vaikutuksesta oksaisuuslaatuluokkien tilavuusosuuteen eivät ole välttämättä sovellettavissa leimikoittaiseen tarkasteluun, jolloin havaintoina ovat leimikoittaiset läpimitan ja etäisyyden keskiarvot. Toisaalta voi olettaa, ettei kovin suuria poikkeamia kuitenkaan synny, koska läpimitan ja etäisyyden vaikutus oli likimain lineaarinen. Tämän ansiosta leimikoiden väliset erot ovat mahdollisesti selitettävissä samalla mallilla kuin runkojen väliset erot.

Toinen mahdollisuus on luonnollisesti laskea leimikoittaisista keskiarvotiedoista regressioyhtälö samalla tavalla kuin aiemmin on laskettu runkokohtaisista tiedoista. Tällainen menettely on muutoin tehokas, mutta keskiarvotietoihin on vaikea saada

riittävää vaihtelua ääritapausten kuvaamista varten. Kun havainnot keskittyvät liian suppealle alueelle, regression kuvaajan määrittäminen käy epävarmaksi, vaikka keskiarvotietojen käyttämisellä onkin tiettyjä teoreettisia etuja (ks. Kärkkäinen 1973, s. 67—73).

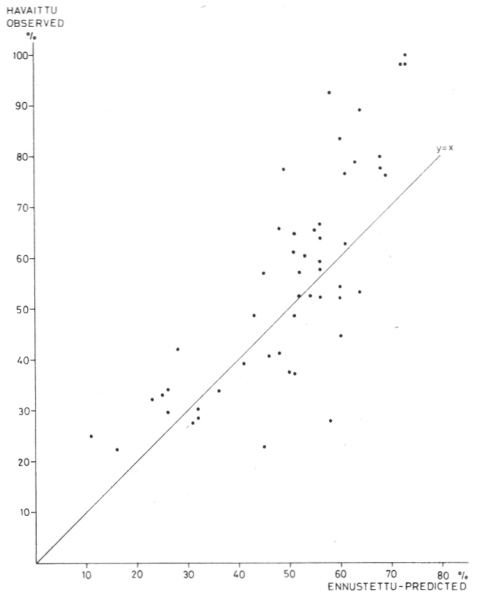
Edellä esitetystä syystä pidettiin tarkoituksenmukaisena käyttää taulukoissa 27 ja 28 esitettyjä tuloksia myös leimikoitten välisen vaihtelun analysointiin. Leimikkokohtaisen luotettavuuden selvittämiseksi em. taulukkoja käyttäen laskettiin kullekin leimikolle ennuste keskiläpimitan ja keskimääräisen alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden avulla. Tätä tulosta verrattiin mitattuun ensimmäisen ja kolmannen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuteen.

Kuvassa 29 on esitetty ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuutta koskevat tulokset. Kuvan mukaan ennustaminen on onnistunut keskimäärin tyydyttävästi ongelman luonteen huomioon ottaen. Olennaisia systemaattisia poikkeamisia ei ole lukuunottamatta sitä, että ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan osuuden ollessa hyvin alhainen ennusteet ovat hieman liian suuret.



Kuva 29. Ennustettu ja havaittu ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuus eri leimikoilla. Ennuste on tehty taulukon 27 avulla keskimääräisen rinnankorkeusläpimitan ja alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden perusteella.

Fig. 29. Predicted and observed percentage of the first knottiness class in various marked stands. Prediction is based on the average breast height diameter and distance to the lowest dead branch with the help of Table 27.



Kuva 30. Ennustettu ja havaittu kolmannen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuus eri leimikoilla. Ennuste on tehty taulukon 28 avulla keskimääräisen rinnankorkeusläpimitan ja alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden perusteella.

Fig. 30. Predicted and observed percentage of the third knottiness class in various marked stands. Prediction is based on the average breast height diameter and distance to the lowest dead branch with the help of Table 28.

Kuvassa 30 on vastaavasti esitetty kolmannen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuutta koskevat tulokset. Myös tässä tapauksessa ennustaminen on onnistunut tyydyttävästi lukuunottamatta sitä, että kolmannen oksaisuuslaatuluokan ollessa suuri ennusteet ovat liian alhaisia.

Lievä kuvissa 29 ja 30 näkyvä systemaattinen virhe voidaan tarvittaessa poistaa. Kannattaa kuitenkin harkita, onko siihen syytä mennä tässä vaiheessa. Tällä hetkellä taulukoiden 27 ja 28 informaatio on konservatiivinen, ts. se suosii ennustetta keskiarvon suuntaan. Esimerkiksi jos ensimmäisen oksaisuusluokan osuus on alhainen, ts. leimikko on poikkeuksellisen huono, ennuste ei anna aivan niin masentavaa kuvaa puuston laadusta kuin totuus on. Vastaavasti jos kolmannen laatuluokan osuus on korkea, ts. leimikko on huono, ilmiö on aivan sama. Kun käytännössä on ilmeisesti syytäkin poikkeuksellisilla leimikoilla varoa antamasta liian lohdutonta kuvaa vain yhden tutkimuksen perusteella, ennusteen konservatiivisuus saattaa olla aivan paikallaan. Näin ollen taulukkoihin 27 ja 28 ei ole tehty mitään muutoksia kuvien 29 ja 30 perusteella, etenkin kun muutokset olisivat olleet harkinnanvaraisia.

Sitä vastoin kuvista 29 ja 30 on laskettu leimikkokohtaisista keskiarvotiedoista toisen asteen regressioyhtälöt, joita käyttäen voidaan ennusteet muuntaa käsillä olevan tutkimuksen aineiston mukaan paremmin todellisuutta vastaaviksi käytettäessä leimikoittaisia keskiarvotietoja. — Nämä yhtälöt ovat seuraavat:

$$y_1 = 0{,}87 + 0{,}8822x_5 + 0{,}001624x_5^2 \qquad (R^2 = 70{,}0\ \%)$$

$$y_2 = 30{,}80 - 0{,}4964x_6 + 0{,}01805x_6^2 \qquad (R^2 = 67{,}9\ \%)$$

jossa

y_1 = korjattu ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan osuus, %
x_5 = taulukosta 27 saatava osuus, %
y_2 = korjattu kolmannen oksaisuuslaatuluokan osuus, %
x_6 = taulukosta 28 saatava osuus, %

Kuinka monesta rungosta täytyy sitten kullakin leimikolla mitata rinnankorkeusläpimitta ja etäisyys alimpaan kuivaan oksaan, jotta taulukkoja 27 ja 28 voidaan käyttää leimikkokohtaiseen oksaisuuslaatuluokkien tilavuusosuuksien arvioimiseen?

Taulukossa 29 on esitetty mainittujen muuttujien leimikkokohtaiset, alueelliset ja koko aineistoa koskevat keskiarvot ja standardipoikkeamat. Niiden avulla voidaan laskea, kuinka suuri otos tarvitaan määrätarkkuuteen pyrittäessä eri oloissa.

Taulukosta 29 havaitaan, että varovaisuuteen pyrittäessä rinnankorkeusläpimitan standardipoikkeamaksi voidaan ottaa 60 mm ja etäisyyden standardipoikkeamaksi 300 cm. Rinnankorkeusläpimitan osalta on vain yksi enemmän vaihteleva leimikko ja etäisyyden osalta kaksi. Varovaisuutta on siis pidettävä riittävänä.

Kun taulukoissa 27 ja 28 luokkaväli oli rinnankorkeusläpimitassa 10 mm ja alimpaan kuivaan oksaan mitatussa etäisyydessä 50 cm, kohtuulliseksi maksimipoikkeamaksi voidaan ottaa luokkaväli, sen puolikas tai puolitoistakertainen arvo.

Taulukko 29. Rinnankorkeusläpimitan ja alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden keskiarvot ja standardipoikkeamat eri leimikoilla.

Table 29. Averages and standard deviations of breast height diameter and distance to the lowest dead branch in various stands.

Alue *District*	Leimikko *Stand*	Rinnankorkeusläpimitta *Breast height diameter* mm		Etäisyys *Distance* cm		Alue *District*	Leimikko *Stand*	Rinnankorkeusläpimitta *Breast height diameter* mm		Etäisyys *Distance* cm	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s			$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	1	301	53	385	205	4	1	254	45	404	225
	2	253	50	431	218		2	288	45	367	134
	3	316	42	728	304		3	277	52	419	162
	4	219	37	383	122		4	263	42	257	142
	5	237	39	455	164		5	369	72	480	202
	6	255	37	380	173		6	241	33	519	230
	7	241	37	421	209		7	273	49	518	223
	8	266	43	409	99		8	242	41	315	152
	9	237	51	446	162		Yht. — *Total* ..	274	61	409	208
	Yht. — *Total* ..	265	55	476	241						
						5	1	283	52	339	157
2	1	308	48	771	286		2	270	54	246	127
	2	314	58	462	205		3	254	36	351	123
	3	283	38	610	240		4	236	28	373	167
	4	227	33	681	263		4	221	33	234	135
	5	219	26	214	114		6	224	44	253	148
	6	305	65	216	104		7	298	36	742	201
	7	214	22	324	137		Yht. — *Total* ..	257	49	374	229
	Yht. — *Total* ..	274	60	525	295						
						6	1	279	50	348	178
3	1	272	52	649	237		2	299	58	330	142
	2	279	35	835	292		3	270	42	793	202
	3	212	31	375	157		4	222	32	426	209
	4	234	51	471	203		5	212	32	460	136
	5	264	39	895	188		6	252	42	457	204
	6	307	46	556	208		7	230	39	309	136
	7	269	38	988	1 258		8	215	23	337	141
	8	286	49	435	186		9	268	36	205	104
	9	265	41	449	243		Yht. — *Total* ..	252	49	422	247
	Yht. — *Total* ..	268	49	646	473						
						7	1	247	40	527	155
							2	323	43	874	258
							3	317	42	830	290
							Yht. — *Total* ..	281	55	680	273
							Kaikki — *Grand total* ...	266	54	486	298

Kun luokkaväli on kummankin tunnuksen osalta 1/6 standardipoikkeamasta, saadaan samat otoksen koot kummankin tunnuksen mukaan laskien. — Kun todennäköisyys saada vielä enemmän oikeasta poikkeava tulos otetaan arvoksi 0,05, saadaan erilaisilla täsmällisyysvaatimuksilla seuraavan jaotelman mukaiset tulokset tavanomaisella kaavalla laskien (Liedes ja Manninen 1975, s. 78).

Tukkipuita leimikossa	Täsmällisyys luokkaväleinä 0,5	1,0	1,5
	Otoksen koko, kpl		
20	19	17	15
40	37	31	24
60	54	42	30
80	70	51	35
100	85	58	38
150	118	72	44
200	147	82	47
250	172	89	49
300	195	95	51
350	214	99	52
400	232	103	53
450	248	106	54
500	263	108	55
600	288	112	56
700	309	115	57
800	327	118	57
1 000	356	121	58
1 500	404	127	59
2 000	433	129	60
2 500	453	131	60
3 000	467	132	60
4 000	486	134	61
5 000	498	135	61
∞	553	138	61

Selvää on, ettei liialliseen täsmällisyyteen kannata pyrkiä, koska taulukkojen 27 ja 28 informaatio on jo epätarkka aiemmin todetun mukaisesti. Kohtuulliselta vaikuttaa luokkavälin tai sen puolitoistakertaisen arvon mukainen täsmällisyys, ts. rinnankorkeusläpimitassa 10 tai 15 mm ja etäisyydessä alimpaan kuivaan oksaan 50 tai 75 cm. Kun siis käytetään esitetyn jaotelman mukaista otoskokoa, tulos ei poikkea todennäköisyydellä $p = 0{,}05$ enempää kuin mainitun määrän oikeasta rinnankorkeusläpimitan tai etäisyyden keskiarvosta.

Keskiläpimitta ja -etäisyys saadaan siis suhteellisen luotettavasti pienehköllä otoksella. Ennuste ei sinänsä kuitenkaan tule tarkaksi: kuvista 29 ja 30 voidaan päätellä, että ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan osuutta ennustettaessa noin puolet leimikoista arvioidaan $\pm$ 5 %-yksikön tarkkuudella oikein ja kolme neljännestä $\pm$ 10 %-yksikön rajoihin. Kolmannen oksaisuuslaatuluokan osuuden ennustaminen onnistuu heikommin: noin puolet leimikoista saadaan $\pm$ 10 %-yksikön sisälle oikeasta arvosta. Menetelmän yksinkertaisuuteen ja mitattavuuteen nähden tulosta on kuitenkin pidettävä tyydyttävänä.

352. Iän ja metsätyypin vaikutus

Kiintoisaa on myös tarkastella tuloksia metsikön iän ja metsätyypin mukaan. Johtopäätökset on kuitenkin tehtävä varovasti, koska kyseessä ei ole otos. Näin

ollen mm. heikkolaatuisia leimikkoja on voitu tietoisesti etsiä hyviltä kasvupaikoilta. Luultavampaa kuitenkin on, että leimikkojen valinta laadun mukaan on tapahtunut kasvupaikasta riippumatta, ja näin ollen voidaan alustavasti päätellä, miten metsätyyppi vaikuttaa männyn laatuun.

Taulukossa 30 on esitetty etäisyys alimpaan kuivaan oksaan metsätyypin ja puiden iän mukaan. Jokainen keskiarvo perustuu vähintään 10 havaintoon. — Tulokset viittaavat siihen, että samassa iässä etäisyys alimpaan kuivaan oksaan on puolukkatyypin metsissä suurempi kuin mustikkatyypin metsissä. Poikkeuksia on paljon eikä kuva ole selkeä, mutta tällaisen yleistyksen voi kuitenkin tehdä. Kanervatyypin metsistä ei taulukoista saada selkeää kuvaa.

Taulukko 30. Etäisyys alimpaan kuivaan oksaan metsikön iän ja metsätyypin mukaan eri alueilla. Kukin keskiarvo perustuu vähintään 10 runkoon.

Table 30. Distance to the lowest dead branch according to the age of stand and forest type in various districts. Each average is based on at least 10 stems.

Alue *District*	Metsätyyppi *Forest type* [1]	Ikä, a — *Age, years*					
		50	70	90	110	130	150
		Keskietäisyys, cm — *Average distance, cm*					
1	MT	400	401	..	..	..	..
	VT	407	412	600	737	..	..
	CT	..	455	..	..	..	..
2	MT	358	..	386	..	..	..
	VT	225	516	672	..	..	..
	CT	..	..	..	..	..	..
3	MT	233	447	658	770	..	..
	VT	..	..	527	808	..	895
	CT	..	..	533	717	..	..
4	MT	..	..	400	440	..	..
	VT	..	463	451	482	365	..
	CT	..	..	..	257	252	..
5	MT	..	231	300	..	..	..
	VT	..	..	234	246	347	365
	CT	..	..	..	..	..	..
6	MT	311	421	426	..	..	..
	VT	241	379	303	..	776	..
	CT	..	..	..	..	..	..
7	MT	..	..	830	..	..	..
	VT	..	..	874	..	..	..
	CT	..	..	..	..	..	..
Yht. — *Total*	MT	321	378	532	502	..	..
	VT	304	419	581	581	532	565
	CT	..	455	533	305	252	..

[1] *See Cajander 1949*

Taulukko 31. Etäisyys alimpaan elävään oksaan metsikön iän ja metsätyypin mukaan eri alueilla. Kukin keskiarvo perustuu vähintään 10 runkoon.

Table 31. Distance to the lowest living branch according to the age of stand and forest type in various districts. Each average is based on at least 10 stems.

Alue *District*	Metsätyyppi *Forest type* [1]	Ikä, a — *Age, years*					
		50	70	90	110	130	150
		Keskietäisyys, cm — *Average distance, cm*					
1	MT	1 150	1 111	..	..	..	..
	VT	922	1 074	995	1 241	..	..
	CT	..	919	..	..	..	..
2	MT	1 067	..	1 088	..	..	..
	VT	880	684	1 086	..	..	..
	CT	..	..	..	..	..	..
3	MT	742	1 106	1 046	1 191	..	..
	VT	..	..	860	1 153	..	1 205
	CT	..	..	682	927	..	..
4	MT	..	..	629	822	..	..
	VT	..	824	780	824	482	..
	CT	..	..	..	569	417	..
5	MT	..	912	879	..	..	..
	VT	..	..	898	751	652	688
	CT	..	..	..	..	..	..
6	MT	522	882	937	..	..	..
	VT	668	992	1 064	..	1 065	..
	CT	..	..	..	..	..	..
7	MT	..	..	1 410	..	..	..
	VT	..	..	1 333	..	..	..
	CT	..	..	..	..	..	..
Yht. — *Total*	MT	882	989	1 086	893	..	..
	VT	812	956	1 018	1 034	809	883
	CT	..	919	682	632	417	..

[1]) *See Cajander 1949*

Taulukon 31 perusteella voidaan päätellä, ettei syynä ole poikkeuksellinen valikoituminen, onhan etäisyys alimpaan elävään oksaan taas yleensä pienempi puolukkatyypillä kuin mustikkatyypillä, kuten sopii olettaakin puiden vähäisemmästä pituudesta johtuen. Yhdistettynä taulukkojen 30 ja 31 tulokset merkitsevät sitä, että mustikkatyypin männiköissä kuivia oksia sisältävän rungon osan pituus on selvästi suurempi kuin puolukkatyypillä. Mahdollisesti tämä ero johtuu oksien paksuudesta: tiedetään, että mustikkatyypin männikön oksat ovat kuollessaan paksumpia ja sitten hitaampia karsiutumaan (Uusvaara 1974, s. 43). Tätä käsitystä tukee Heiskasen (1954 b, s. 20) tulos, jonka mukaan suurimman oksan läpimitta korreloi positiivisesti nuoruuden kasvunopeuden kanssa. Myös toisessa, laajemmassa aineistossa havaittiin kasvunopeuden ja oksan läpimitan selvä riippu-

vuus (Heiskanen 1965, s. 25). Mahdollisesti myös Sarvaksen (1944, s. 221, vrt. s. 89, 156) ja Heikinheimon (1953, s. 32) havainnot hyväkasvuisten mäntyjen heikosta puhdistuvuudesta voidaan tulkita samalla tavalla. Mänty onkin herkkä puulaji mm. kuuseen verrattuna: jo keskimäärin oksat ovat tukkipuukokoisilla männyillä suurempia kuin kuusella (Ager ym. 1964, s. 70), ja reagointi suureen kasvutilaan on voimakkaampi (Sarvas 1964, s. 379). — Mainittakoon kuitenkin, että Heiskasen (1965, s. 22) aineistossa kuivaoksaisen osan pituus oli VT-männikössä suurempi kuin MT-männikössä.

Taulukosta 32 voidaan päätellä, että erilainen oksaisuus heijastuu hyvin myös oksaisuuslaatuluokissa. Satunnaisvaihtelusta huolimatta tulokset viittaavat siihen, että ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan osuus on samanikäisiä puustoja tarkas-

Taulukko 32. Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuus % metsikön iän ja metsätyypin mukaan eri alueilla. Kukin keskiarvo perustuu vähintään 10 runkoon.

Table 32. Volume percentage of first knottiness class according to the age of stand and forest type in various districts. Each average is based on at least 10 stems.

Alue *District*	Metsätyyppi *Forest type* [1]	Ikä, a — *Age, years*					
		50	70	90	110	130	150
		Tilavuusosuus, % — *Volume percentage*					
1	MT	6,9	9,6	..	..	..	..
	VT	6,2	14,9	41,2	45,7	..	..
	CT	..	15,1	..	..	..	..
2	MT	0	..	14,0	..	..	..
	VT	0	44,0	37,1	..	..	..
	CT	..	..	..	..	..	..
3	MT	3,0	22,3	43,0	13,0	..	..
	VT	..	..	36,5	49,1	..	65,6
	CT	..	..	46,6	76,8	..	..
4	MT	..	..	15,5	10,2	..	..
	VT	..	17,9	10,4	12,1	24,3	..
	CT	..	..	..	4,0	4,5	..
5	MT	..	1,4	2,8	..	..	..
	VT	..	..	2,7	4,1	18,0	19,8
	CT	..	..	..	..	..	..
6	MT	0	7,1	18,6	..	..	..
	VT	0	5,2	4,4	..	43,7	..
	CT	..	..	..	..	..	..
7	MT	..	..	44,7	..	..	..
	VT	..	..	50,4	..	..	..
	CT	..	..	..	..	..	..
Yht. — *Total*	MT	1,7	9,8	26,9	10,6	..	..
	VT	2,3	14,3	32,1	34,8	32,6	40,7
	CT	..	15,8	46,6	23,7	4,5	..

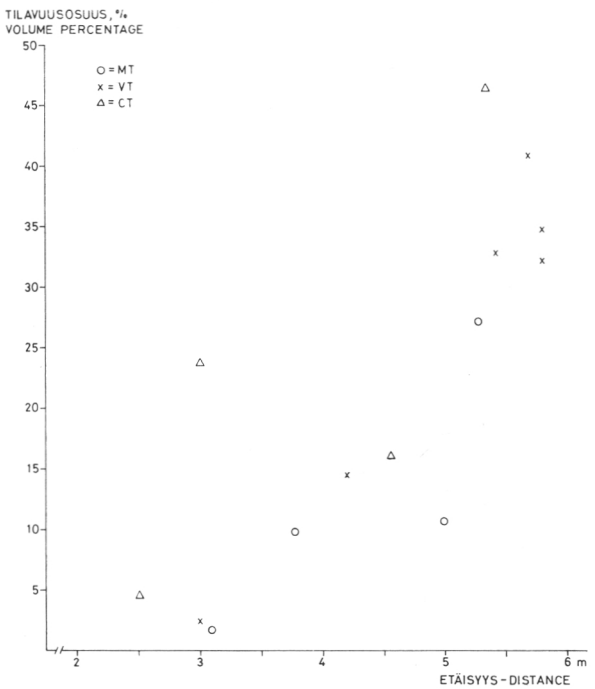
[1] *See Cajander 1949*

teltaessa puolukkatyypin männiköissä selvästi suurempi kuin mustikkatyypillä. Tämä tulos on erityisen merkittävä siksi, että puun koon lisääntyessä oksaisuuslaatu yleensä paranee, kuten aiemmin on jo todettu. Jos siis tarkastellaan samankokoisia puolukka- ja mustikkatyypin puustoja, ero suurenee edelleen.

Saadut tulokset eivät ole millään lailla yllättäviä: yleinen käsitys nimittäin on, että laatu on puolukkatyypillä parempi kuin mustikkatyypillä. Tätä käsitystä tukevat myös tutkimustulokset mm. oksaisuuden osalta (esim. Uusvaara 1974, s. 43).

Vaikuttaako metsätyyppi sitten tavalla, joka eliminoi aiemmin tarkasteltujen oksaisuustunnusten arvon?

Kuvassa 31 on esitetty kokonaisaineistosta lasketut havaintopisteet, jotka kuvaavat eri metsätyyppejä eri ikäluokissa. Kun pisteet on merkitty koordinaatistoon alimmasta kuivasta oksasta mitatun etäisyyden mukaan, voidaan tarkastella, onko ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuuden riippuvuus etäisyystunnuksesta erilainen eri metsätyypeillä.



Kuva 31. Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuuden riippuvuus etäisyydestä alimpaan kuivaan oksaan eri metsätyypeillä.

Fig. 31. Dependance of the volume percentage of first knottiness class on the distance from the ground to the lowest dead branch in various forest types.

Kuvan perusteella näyttää siltä, ettei ainakaan puolukka- ja mustikkatyypin metsissä ole olennaista eroa. Sitä vastoin näyttää mahdolliselta, että kanervatyypin metsissä parhaiden tukkien tilavuusosuus on suurempi kuin mitä voisi päätellä etäisyystunnuksen perusteella. Tulos on ymmärrettävä sikäli, että kanervatyypin puusto on jo lyhyempää kuin paremmilla metsätyypeillä. — Havainto viittaa tarpeeseen käyttää suhteellisia oksaisuustunnuksia (latvussuhde) erityisen karuilla kasvupaikoilla. Toisaalta aiemmin tarkastellut regressioanalyysin tulokset eivät viittaa siihen, että suhteellisilla tunnuksilla olisi käytännössä kovin paljon voitettavissa hankaloituvaan mittaukseen nähden.

4. KOESAHAUKSET

41. Aineisto ja asetteet

Kuten aineiston selostamisen yhteydessä mainittiin, alueelta 7 saadut 609 mäntytukkia sahattiin kenttäpyörösahalla. Saha oli Kallion Konepajan valmistetta. Sahauksessa pyrittiin simuloimaan tavanomaista nelisahausta. Käytetyt asetteet olivat latvaläpimitan mukaan seuraavat.

Latvaläpimitta kuoretta cm	Asete (kuivat mitat, mm) Yläkehä	Alakehä
13	22—100	50—50—22
15	22—100	50—50—22
17	22—125	50 50 22
19	22—150	50—50—22
21	22—150	50—50—22—22
23	22—22—150	50—50—50—22—22
25	22—22—150	50—50—50—22—22
27	22—22—200	50—50—50—22—22
29	22—22—225	75—75—22—22—22
31	»	»
33	»	»

Jokaisesta sahatavarakappaleesta todettiin leveys ja paksuus sekä määritettiin pituus mahdollisen katkaisun jälkeen. Sahatavara katkottiin tavanomaisesti kolmen desimetrin modulin mukaan alkaen 3 m pituudesta. Samalla tehtiin laatuluokitus. Laatuluokituksessa käytettiin tavanomaista vientilajittelun ohjetta, kuitenkin siten, että laatu u/s jaettiin alaryhmiinsä I. . .IV. Vajaasärmälaatuina erotettiin oksaton vajaasärmä, höylävajaasärmä, vientivajaasärmä sekä kotimaan vajaasärmä.

Laskennassa u/s-laudan yksikköhintaa merkittiin luvulla 100 (esim. sahatavarakappaleen yhtä kuutiodesimetriä kohti). Tällöin u/s-soirojen arvo oli 72 ja muut laadut saivat seuraavan jaotelman mukaiset arvot. — Laatujen I. . .IV arvot ovat yleisesti käytettyjä arvioita (esim. S i i m e s 1957, Sahatavaraopas. . .1975, I t k o n e n 1979, s. 69). — Muut arvot saatiin eräältä vientisahalta.

Laatu	Yksikköhinta (u/s-lauta = 100) Laudat	Soirot
I	158	220
II	101	140
III	76	105
IV	65	90
V	55	58
VI	47	47
Oksaton vajaasärmä	102	102
Höylävajaasärmä	57	57
Vientivajaasärmä	35	35
Kotimaan vajaasärmä	30	30

Laskelmat tehtiin myös erottelematta laatuja I. . .IV, koska käytännössä u/s-sahatavaran hinta riippuu vain vähän sisäisestä jakaumasta. — On kokemuksia, että laskentatavat vievät erilaiseen tulokseen (Siimes 1957, Asikainen ja Heiskanen 1970, s. 20).

Väärinkäsitysten välttämiseksi on vielä korostettava, että laatujen I. . .IV hintasuhteet ovat epämääräisiä tietojen puutteen vuoksi, koska 1. maailmansodan jälkeen em. laatuja ei ole Suomesta juuri myyty erikseen, eikä niillä siis ole markkinahintoja (Vuoristo 1936 a, s. 65). Hyvinkin pieniä eroja on käytetty, esim. I = 135, IV = 94 (Heiskanen 1951 a). Pitkällä aikavälillä arvoerot ovat ilmeisesti lisääntyneet (Heiskanen 1951 b, s. 89).

Vastaavissa tutkimuksissa on Vuoriston (1935) ajoista alkaen merkitty soiron 63 × 175 mm hintaa luvulla 100. Kun kyseessä on kuitenkin suhteellisten erojen selvittäminen, on samantekevää, mikä sahatavaralaji otetaan perustaksi, kun vain suhteet ovat oikeat.

Leveyden yksikköhintaa korottava vaikutus otettiin huomioon u/s- sekä kvinttalaaduille. Laskennassa käytettiin seuraavia hinnankorotusprosentteja.

Leveys, mm	Hinnankorotus %, kun laatu on u/s tai V Soirot	Laudat
200	4,5	3,6
225	9,1	7,3

Taulukossa 33 on esitetty aineiston määrä tukkien oksaisuuslaatuluokkien mukaan. Se on jakautunut riittävän tasaisesti eri oksaisuuslaatuluokkien kesken, jotta tukkien laadun vaikutuksesta sahatavaran saantoon ja laatuun voitaisiin tehdä päätelmä. Sitä vastoin tukin keskitilavuus ei ole siinä määrin sama eri oksaisuuslaatuluokissa, että vertailut voitaisiin tehdä läpimitasta riippumatta. — Kaiken kaikkiaan aineistoa voi pitää kuitenkin suurena ja riittävän hajoavana regressioanalyysia varten.

Taulukko 33. Koesahauksen tukkien ja saadun sahatavaran määrä tukkien oksaisuuslaatuluokan mukaan.

Table 33. Number and volume of logs sawn and volume of sawn goods by knottiness class.

Muuttuja — *Variable*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*				
	1	2	3	4	Yhteensä *Total*
Sahattuja tukkeja, kpl — *No. of logs sawn*	147	157	293	12	609
Niiden kuorellinen tilavuus tuoreena, m^3 [1]) — *Green volume incl. bark, m^3* [1])	44,53	33,50	46,09	1,96	126,08
Tukin keskitilavuus, dm^3 [1]) — *Mean log volume, dm^3* [1])	303	213	157	164	207
Sahatavaran tilavuus kuivana, m^3 — *Dry volume of sawn goods, m^3*	20,45	15,76	24,20	1,00	61,41
Käyttösuhde [2]) — *Ratio sawn goods/log volume* [2]) ..	2,18	2,13	1,91	1,96	2,05
Saanto,% [2]) — *Yield, per cent* [2])	45,9	47,0	52,5	51,0	48,7

[1]) Newtonin kaavalla — *By Newton rule*
[2]) Sahatavaran tilavuus ilmakuivana ja kuorellisten tukkien tuoreena — *Volume of sawn goods air-dry and that of logs green incl. bark*

Taulukossa 33 esitetty käyttösuhde on laskettu sahatavaran kuivien mittojen ja tukin osalta tuoreen kuorellisen tilavuuden mukaan. Jäljempänä käytetään käyttösuhteen sijasta saantoprosenttia, joka on käyttösuhteen inverssiarvo prosentteina esitettynä. — Saannolla tarkoitetaan tässä samaa käsitettä kuin Heiskanen (1966) hyötysuhteella.

42. Saanto

Aluksi tarkastellaan saantolukuja oksaisuuslaatuluokkien mukaan. Myöhemmin tarkastellaan myös jakaumia varsinaisten laatuluokkien mukaan, jolloin oksaisuuden lisäksi on otettu huomioon muitakin tekijöitä. Oksaisuuslaatuluokkien erillistä tarkastelua on kuitenkin pidetty suotavana siksi, että monet muut viat esiintyvät satunnaisesti ja heikentävät näin ollen erilaisten tekijöiden vaikutuksesta saatavaa kuvaa.

Jäljempänä tarkastelu suoritetaan kahdella tavalla lasketun tukkien kuorellisen tilavuuden suhteen. Toisaalta käytetään kuorellista tilavuutta, joka on laskettu tukin mitatun pituuden sekä tyvestä, keskeltä ja latvasta mitattujen kuorellisten tarkkojen läpimittojen perusteella Newtonin kaavalla. Toisaalta tukin kuorellisena tilavuutena käytetään myös yleisesti käytetystä taulukosta saatavaa tilavuutta, kun lähtökohtana on latvasta todettu kuoreton, luokiteltu läpimitta sekä pituus.

Taulukossa 34 sahatavarasaanto on esitetty tukin latvaläpimitan mukaan oksaisuuslaatuluokittain. Tässä tapauksessa tukin kuorellinen tilavuus on laskettu Newtonin kaavalla.

Taulukosta 34 voidaan havaita, että saanto kohoaa oksaisuuslaatuluokan huonotessa. Oksaisuuslaaduilla 1 ja 2 ei ole suurta eroa, mutta tavanomainen minimivaatimukset täyttävä tukkiryhmä poikkeaa muista selvästi. Ero muihin nähden on niin suuri, että sillä on myös käytännöllistä merkitystä.

Taulukko 34. Saanto tukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan eri oksaisuuslaatuluokan tukeissa. Tukin kuorellinen tilavuus on laskettu tarkoista mitoista Newtonin kaavalla.

Table 34. Yield of sawn goods in per cent of log volume incl. bark in the logs of various knottiness classes by top diameter u.b. Log volume calculated by Newton rule using exact diameters.

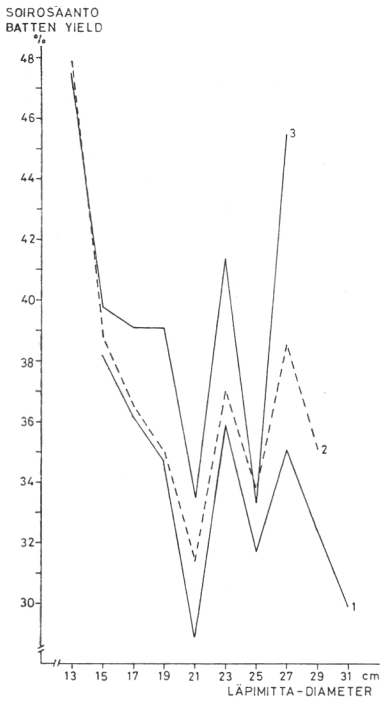
Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*											
	1			2			3			Yhteensä — *Total* [1])		
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
13	—	—	—	47,9	6,5	4	48,7	6,1	31	48,4	6,0	37
15	43,1	12,0	4	47,3	12,3	17	51,6	6,3	71	50,2	8,1	97
17	44,4	5,4	13	44,2	6,6	28	51,8	5,6	79	49,2	6,8	120
19	44,9	6,0	18	45,1	6,9	27	52,4	7,6	39	48,7	7,9	87
21	44,6	5,2	22	47,3	7,9	33	52,9	6,2	38	48,9	7,4	94
23	46,4	5,8	20	49,9	9,5	21	56,4	5,0	24	51,3	8,1	65
25	46,7	4,7	24	51,4	7,3	17	51,5	5,7	4	48,9	6,2	45
27	47,3	4,8	28	48,5	7,4	8	59,3	10,7	5	49,0	7,2	41
29	47,8	3,2	10	49,6	2,1	2	—	—	—	49,1	4,4	13
31	44,8	3,8	8	—	—	—	54,1	—	1	45,9	4,7	9
Yht. — *Total* [2])	45,9	5,4	147	47,3	8,3	157	52,1	6,5	293	49,3	7,3	609

[1]) Mukana myös raakkitukit — *Includes even unmerchantable logs*
[2]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

Saannon lisääntyminen oksaisuuslaatuluokan heiketessä perustuu ilmeisesti tukkien muodon muuttumiseen. Se näkyi sekä soirojen että lautojen saantoluvuissa (kuvat 32 ja 33). — Parhaat tukit ovat yleensä voimakkaasti kapenevia tyvitukkeja, joiden tilavuudesta saadaan sahatavaraksi hyvin ymmärrettävistä syistä vähäisempi osa kuin vähemmän kapenevista välitukeista. Latvatukit kapenevat jälleen enemmän, mutta niissä ei ole tyvitukkien tyvipaisumaa, joka lisää tilavuutta runsaasti. Tätä käsitystä tukkien muodon ja laadun riippuvuudesta tukevat latvamuotolukuja koskevat tulokset (Aro ja Rikkonen 1966, s. 45, ks. myös Asikainen ja Heiskanen 1970, s. 22). — Edelleen samaan suuntaan vaikuttaa männyn tyvitukkien paksu kaarna sekä lenkous, joka on tyvitukeissa selvästi suurempi (taulukko 8) kuin muissa tukeissa. Lenkous nimittäin alentaa selvästi saantoa (esim. Vuoristo 1938, s. 136, Ronkanen 1950, Siimes 1957, Asikainen ja Panhelainen 1970). — Saadut tulokset ovat näin ollen hyvin ymmärrettävissä.

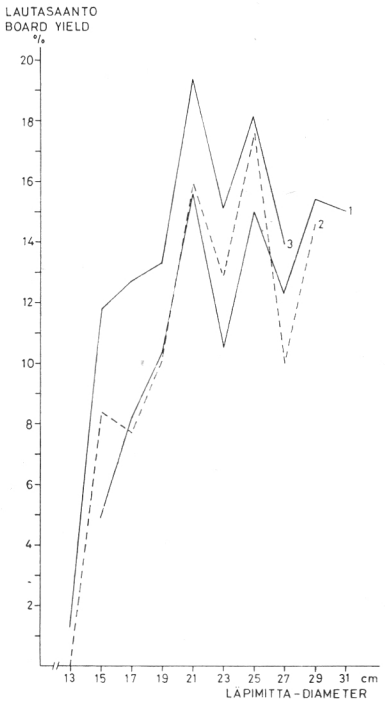
Taulukosta 34 voidaan havaita myös tavanomainen hyvin lievä saannon lisääntyminen läpimitan suuretessa (esim. Heiskanen 1976, s. 56).

Taulukossa 35 on esitetty vastaavat tulokset, kun tukin kuorellinen tilavuus on todettu yleisesti käytetyn taulukon perusteella. Luvut ovat muuttuneet taulukkoon 34 verrattuna paljon: ensimmäisessä oksaisuuslaatuluokassa saanto on suurentunut, mutta muissa pienentynyt. Johtopäätökset pysyvät olennaisilta osiltaan kuitenkin samoina: oksaisuuslaatuluokka 3 poikkeaa muista oksaisuuslaatuluokista suuremman saantonsa vuoksi. — Syyt parempaan saantoon ovat vain osittain samat kuin edellä (tyvitukkien lenkous), koska tilavuustaulukoissa kapeneminen oletetaan



Kuva 32. Soirosaanto eri oksaisuuslaatuluokan tukeista tukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan. Tukin kuorellinen tilavuus on laskettu Newtonin kaavalla tarkoista mitoista.

Fig. 32. Batten yield in per cent of log volume of various knottiness classes according to the top diameter u.b. The volume incl. bark is calculated using exact diameters and Newton's formula.



Kuva 33. Lautasaanto eri oksaisuuslaatuluokan tukeista tukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan. Tukin kuorellinen tilavuus on laskettu Newtonin kaavalla tarkoista mitoista.

Fig. 33. Board yield in per cent of log volume of various knottiness classes according to the top diameter u.b. The volume incl. bark is calculated using exact diameters and Newton's formula.

vakioksi kussakin läpimittaluokassa. Ilmeisesti lenkous eliminoi hyvää saantoa voimakkaasti kapenevista hyvälaatuisista tyvitukeista, mutta ei samoin voimakkaasti kapenevista latvatukeista.

Paljolti riippumatta tukkien tilavuuden mittaamistavasta on myös lukuisissa muissa tutkimuksissa havaittu saannon lisääntyvän tukin laadun heikentyessä. Tällaisia tuloksia on saatu Vuoriston laajasta koesahausaineistosta (Heiskanen 1951 c, s. 101), myöhemmin Pohjois-Suomesta (Mäntysahatukkien. . .1956, s. 43) ja Ruotsista (Orver 1970 b).

Taulukossa 36 on esitetty saanto eri laatuluokan tukeissa. Tässä tapauksessa mukaan on otettu myös raakkitukkien ryhmä, jonka koko on lisääntynyt oksaisuuslaatuluokitukseen verrattuna olennaisesti.

Kuva 35. Saanto tukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan eri oksaisuuslaatuluokan tukeissa. Tukin kuorellinen tilavuus on otettu yleisesti käytetystä taulukosta luokitellun kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Table 35. Yield of sawn goods in per cent of log volume incl. bark in the logs of various knottiness classes by top diameter u.b. Log volume from table.

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*											
	1			2			3			Yhteensä — *Total* [1]		
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
13	—	—	—	39,3	5,8	4	43,2	5,2	31	42,8	5,2	37
15	36,2	7,2	4	42,2	6,2	17	47,4	7,4	71	46,1	7,6	97
17	44,5	4,7	13	43,0	4,6	28	48,2	6,7	79	46,6	6,5	120
19	44,5	6,2	18	44,7	4,9	27	48,8	6,9	39	46,8	6,5	87
21	45,5	4,2	22	45,4	5,3	33	50,6	5,6	38	47,6	5,8	94
23	47,3	3,7	20	48,1	5,5	21	51,0	3,9	24	48,9	4,7	65
25	47,4	4,4	24	49,5	5,0	17	47,9	0,8	4	48,2	4,5	45
27	48,3	4,0	28	46,6	3,8	8	50,9	12,2	5	48,3	5,5	41
29	55,2	18,0	10	48,8	2,7	2	—	—	—	53,9	15,8	13
31	47,6	3,9	8	—	—	—	40,7	—	1	46,8	4,4	9
Yht. — *Total* [2]	46,9	6,9	147	45,3	5,6	157	48,1	6,8	293	47,1	6,6	609

[1]) Mukana myös raakkitukit — *Includes even the unmerchantable logs*
[2]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

Taulukosta 36 voidaan havaita, että laatuluokilla 1 ja 2 on suhteellisen vähän eroa. Sitä vastoin laatuluokassa 3 saanto on selvästi suurempi kuin muissa laatuluokissa. Raakkitukeissa saanto on jälleen alhaisempi, ilmeisesti sahatavaraa lyhentävien vikojen vaikutuksesta.

Taulukko 36. Saanto tukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan eri laatuluokan tukeissa. Tukin kuorellinen tilavuus on laskettu tarkoista mitoista Newtonin kaavalla.

Table 36. Yield of sawn goods in per cent of log volume incl. bark in the logs of various quality classes by top diameter u.b. Log volume calculated by Newton rule using exact diameters.

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Laatuluokka — *Quality class* [1]											
	1			2			3			4		
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
13	—	—	—	45,0	8,0	2	45,0	4,4	9	49,8	6,0	26
15	50,9	5,1	2	47,2	12,2	15	51,7	6,3	63	47,3	8,9	17
17	45,4	5,5	9	45,3	6,2	25	52,0	5,6	74	43,0	6,1	12
19	46,9	6,5	10	45,4	6,4	29	52,4	7,6	39	44,8	8,6	9
21	46,1	5,2	14	47,9	7,3	33	52,2	6,7	40	40,5	6,0	7
23	47,0	5,4	14	50,2	8,6	24	56,4	5,0	24	38,3	6,1	3
25	47,4	4,7	17	49,9	7,1	23	51,5	5,7	4	40,7	—	1
27	47,5	5,0	20	48,2	5,9	15	59,3	10,7	5	40,6	—	1
29	47,8	3,2	10	49,6	2,1	2	—	—	—	60,1	—	1
31	44,9	2,5	5	44,8	6,1	3	54,1	—	1	—	—	—
Yht. — *Total* [2]	46,9	4,9	101	47,6	7,6	171	52,3	6,6	260	46,2	7,8	77

[1]) Läpimittaluokittaiset yhteistulokset ovat samat kuin taulukossa 34 — *Totals by diameter classes are the same as in Table 34*
[2]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

Taulukko 37. Saanto tukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan eri laatuluokan tukeissa. Tukin kuorellinen tilavuus on otettu yleisesti käytetystä taulukosta luokitellun kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Table 37. Yield of sawn goods in per cent of log volume incl. bark in the logs of various quality classes by top diameter u.b. Log volume from table.

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Laatuluokka — *Quality class* [1]											
	1			2			3			4		
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
13	—	—	—	34,6	3,5	2	39,2	5,8	9	44,7	3,7	26
15	40,3	8,2	2	42,3	6,3	15	47,0	7,1	63	46,6	9,8	17
17	44,9	5,3	9	43,2	4,4	25	48,6	6,7	74	42,2	4,0	12
19	46,1	6,6	10	45,1	4,7	29	48,7	7,0	39	44,9	8,2	9
21	46,1	4,2	14	46,2	4,5	33	50,1	5,9	40	43,5	8,0	7
23	47,4	3,6	14	48,8	4,6	24	51,0	3,9	24	40,1	3,5	3
25	47,2	4,3	17	49,0	5,1	23	47,9	0,8	4	49,2	—	1
27	49,1	3,4	20	47,0	3,6	15	50,9	12,2	5	37,5	—	1
29	55,2	18,0	10	48,8	2,7	2	—	—	—	52,0	—	1
31	49,3	4,1	5	44,7	1,1	3	40,5	—	1	—	—	—
Yht. — *Total* [2]	47,9	7,4	101	45,9	5,2	171	48,4	6,8	260	44,5	6,6	77

[1]) Läpimittaluokittaiset yhteistulokset ovat samat kuin taulukossa 35 — *Totals by diameter classes are the same as in Table 35*
[2]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

Taulukossa 37 on puolestaan esitetty vastaavat tulokset tukkien taulukkotilavuuden perusteella laskien. Johtopäätökset ovat samat, etenkin kun otetaan huomioon yksi poikkeuksellinen ensimmäisen laatuluokan tukki, jonka latvaläpimitta oli 29 cm. Tätä tukkia lukuunottamatta laatuluokkien 1 ja 2 välinen ero on vähäinen, mutta laatuluokassa 3 saanto on selvästi suurempi.

Valtaosa kunkin läpimittaluokan sahatavarasaannosta oli soiroja, pienimmissä tukeissa yli 90 %, suurimmissa noin 65 % (kuva 34). Erityisesti pienten tukkien luvut ovat korkeita 1960-luvulla tehtyihin koesahauksiin verrattuna (esim. Heiskanen ja Asikainen 1969, s. 115). Käsillä olevassa tutkimuksessa nimittäin vältettiin kaikista huonoimpien pintalautojen tekemistä nykykäytännön mukaisesti.

Soirojen osuus sahatavarasta oli keskimäärin 72,8 %. Tätä suuruusluokkaa olevat luvut ovat tyypillisiä myös kaupallisille sahalaitoksille erojen johtuessa lähinnä tukkien järeyseroista ja lautasahauksen osuudesta. — Käsillä olevassa tutkimuksessa oksaisuuslaatuluokkien erot soirojen osuudessa johtuvat lähinnä kokonaissaannon vaihtelusta.

Kun eräissä tapauksissa tarvitaan yhtälömuotoista tietoa kuorettoman läpimitan vaikutuksesta saantoon, laskettiin taulukoissa 34 ja 35 esitetyistä tiedoista painotetut regressioanalyysit Kärkkäisen (1973) esittämällä tavalla. Tällöin käytettiin mallia $y = a + b_1 d_t + b_2 d^2_t$, jossa y_3 on saanto tukin Newtonin kaavalla lasketusta kuorellisesta tilavuudesta, y_4 saanto tukin taulukkotilavuudesta sekä d_t tukin kuoreton latvaläpimitta. Tulokset olivat seuraavat.

Selitettävä tekijä	Oksaisuuslaatuluokka	Vakio	b_1	b_2	R^2, %
y_3	1	22,2	1,836	—0,03413	60,7
	2	40,1	0,2584	0,003497	57,9
	3	41,2	0,7068	—0,004768	74,3
	Yhteensä	42,9	0,6708	—0,01677	23,3
y_4	1	16,8	2,204	—0,03866	77,5
	2	18,3	2,066	—0,03541	86,4
	3	—0,5	4,918	—0,1189	86,5
	Yhteensä	26,6	1,777	—0,03601	85,5

43. Sahatavaran yksikköhinnat

Saannon lisäksi taloudelliseen tulokseen vaikuttaa sahatavarasta saatava hinta. Tämän selvittämiseksi laskettiin tukeittain soirojen ja lautojen keskimääräiset yksikköhinnat sekä tukista saatavan sahatavaran keskimääräinen yksikköhinta, kun lähtötietoina käytettiin kustakin sahatavarakappaleesta todettua laatua sekä aiemmin esitettyä laadun mukaista yksikköhintaporrastusta. — Kaikki jäljempänä esitettävät tulokset perustuvat tasoon, jossa u/s-laudan yksikköhintaa on merkitty luvulla 100. Tarvittaessa päästään käytännön hintoihin korvaamalla luku 100 todellisella u/s-laudan yksikköhinnalla.

Tuloksia tarkastellaan sekä tukkien oksaisuuslaatuluokkien että tukkien varsinaisten laatuluokkien mukaan. Tällä menettelyllä pyritään arvioimaan, missä määrin muiden tekijöiden kuin oksaisuuden ottaminen huomioon vaikuttaa tuloksiin. Tällainen tarkastelutapa on erityisen aiheellinen siksi, että käsillä olevassa tutkimuksessa on päädytty esittämään puhtaasti oksaisuustunnusten käyttämistä sahatukkien laadun arvioinnissa. Tällöin on pelättävissä, että muut tekijät kuin oksaisuus saattavat vaikuttaa tuloksiin niin paljon, ettei pitäytyminen pelkästään objektiivisesti mitattavissa oleviin oksaisuustekijöihin ole perusteltua.

Taulukossa 38 on esitetty soirojen yksikköhinta oksaisuuslaatuluokan ja latvaläpimitan mukaan, kun sahatavaralaadut I. . .IV hinnoiteltiin kukin erikseen. Voidaan havaita, että ensimmäiseen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvista tukeista saatujen soirojen yksikköhinta on lähes 40 % suurempi kuin kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeista saatujen soirojen yksikköhinta. Osittain tulos johtuu siitä, että ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukit ovat järeämpiä. Kuitenkin voidaan havaita huomattavia eroja myös läpimittaluokittain. Kun tarkastellaan latvaläpimittaluokkia 17. . .23, jotka perustuvat kummankin oksaisuuslaatuluokan osalta yli kymmeneen havaintoon, voidaan todeta eron olevan läpimittaluokasta riippuen 24. . .39 %. — Oksaisuuslaatuluokan perusteella tehty lajittelu on siis onnistunut siinä mielessä, että on saatu keskenään eriarvoisia tukkiryhmiä. Taulukosta nimittäin havaitaan, että toisen oksaisuuslaatuluokan tukit sijoittuvat ensimmäisen ja kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukkien väliin.

Taulukko 38. Soirojen yksikköhinta tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen.

Table 38. Volume price of battens according to the knottiness class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I . . . IV of battens are priced separately.

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total* [1]		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
13	—	—	—	46,9	5,5	4	46,4	6,0	31	46,3	5,7	37
15	63,1	6,7	4	54,7	9,3	17	50,3	4,8	71	51,7	6,6	97
17	72,5	11,9	13	58,7	5,3	28	52,1	4,2	79	55,9	8,6	120
19	63,1	7,1	18	58,6	6,2	27	51,0	4,0	39	55,7	7,5	87
21	71,2	12,3	22	59,8	8,7	33	51,4	3,5	38	58,9	11,2	94
23	63,7	13,5	20	54,9	3,8	21	50,9	2,9	24	56,1	9,5	65
25	71,2	15,3	24	56,2	5,6	17	50,3	4,0	4	63,7	14,3	45
27	67,6	10,7	28	60,1	7,3	8	51,9	1,9	5	64,3	10,8	41
29	81,0	19,3	10	59,5	0,7	2	—	—	—	75,1	20,4	13
31	103,6	33,6	8	—	—	—	60,0	—	1	98,8	34,6	9
Yht. — *Total* [2]	70,8	16,8	147	57,5	7,1	157	50,8	4,7	293	57,3	12,6	609

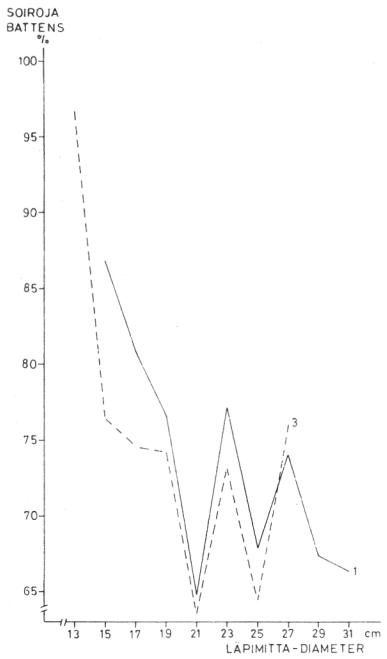
[1]) Mukana myös raakkitukit — *Includes even the unmerchantable logs*
[2]) Mukana myös muut läpimittaluokat — *Includes even other diameter classes*

Kiinnostavaa on, että yksikköhinnan standardipoikkeama alenee selvästi tukin oksaisuuslaatuluokan heiketessä. Tämä merkitsee sitä, että hyvälaatuisista tukeista voidaan saada joko hyvää tai huonoa sahatavaraa riippuen siitä, kuinka hyvin tukin pinnalta todettavat laatutekijät korreloivat tukin sisäisen laadun kanssa. Sitä vastoin jo pinnaltaan heikkolaatuisiksi arvioiduista tukeista saadaan todellakin vääjäämättömästi myös heikompaa sahatavaraa, kuten alhaisista hajontaluvuista voidaan päätellä. — Ero näyttää todella olevan merkittävä: ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa standardipoikkeama on yli kolminkertainen kolmannen laatuluokan tukkeihin verrattuna.

Käytännössä tästä voidaan päätellä, että tukkien laatuluokitukseen sisältyy sitä suurempi riski, mitä paremman näköisistä tukeista on kyse. Yksittäistapauksessa tukista saatavan sahatavaran laatu voi olla aivan muuta kuin odotettua.

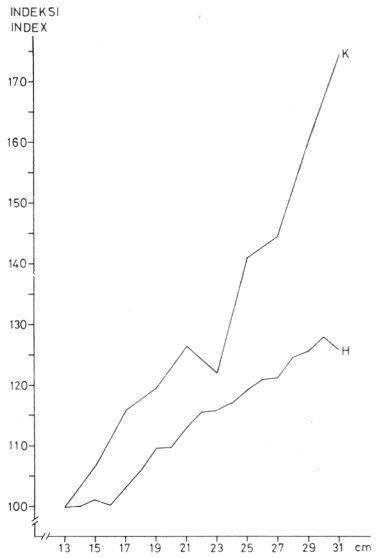
Läpimitan vaikutus on havaittavissa ainoastaan parhaissa tukeissa ja sielläkin suhteellisen heikkona. Kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa soirojen yksikköhinta on likimain riippumaton tukin latvaläpimitasta.

Taulukossa 39 on vastaavasti tarkasteltu lautojen yksikköhintaa, kun laadut I. . .IV on hinnoiteltu kukin erikseen. — Soiroihin verrattuna oksaisuuslaatuluokan vaikutus on kasvanut: ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeista saatujen lautojen yksikköhinta on yli kaksinkertainen kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeista saatuihin lautoihin verrattuna. Osaksi ero johtuu järeyden vaikutuksesta. Voidaan nimittäin havaita, että parhaissa tukeissa läpimitta vaikuttaa erittäin voimakkaasti lautojen yksikköhintaan. Kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa vaikutus on myöskin nähtävissä, mutta olennaisesti heikompana.



Kuva 34. Soirojen osuus sahatavarasta ensimmäisen ja kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa tukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 34. Batten percentage of sawn goods in the logs of the first and third knottiness classes according to the top diameter u.b.



Kuva 35. Sahatavaran yksikköhinta kuorettoman latvaläpimitan mukaan tässä (K) ja Heiskasen (1976) (H) tutkimuksessa.

Fig. 35. Volume price of sawn goods according to the top diameter u.b. in this study (K) and according to Heiskanen (1976) (H).

Kuitenkin myös saman latvaläpimitan omaavia tukkeja tarkasteltaessa erot ovat huomattavat. Esimerkiksi läpimittaluokissa 17. . .23 cm ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeista saatavien lautojen yksikköhinta on läpimittaluokasta riippuen 38. . .85 % suurempi kuin kolmannessa oksaisuuslaatuluokassa. — Toisen oksaisuuslaatuluokan tukit sijoittuvat lautojen yksikköhintoja ajatellen ensimmäisen ja kolmannen oksaisuuslaatuluokan väliin.

Myös lautojen osalta on selvästi havaittavissa, että standardipoikkeama alenee selvästi oksaisuuslaatuluokan heiketessä. Niinpä yksikköhinnan standardipoikkeama ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa on yli nelinkertainen kolmannen laatuluokan tukkeihin verrattuna. Lautojen osalta pätee siis vielä aiempaakin selvemmin edellä todettu seikka: ulkonäöltään hyvälaatuisista tukeista voidaan saada joko hyvää tai huonoa sahatavaraa, mutta huonoiksi arvioiduista tukeista lähinnä vain huonoa.

Taulukkoja 38 ja 39 vertaamalla voidaan todeta, että lautojen yksikköhinnat ovat selvästi soiroja korkeammat ainoastaan parhaissa tukeissa. Jo toiseen oksaisuus-

Taulukko 39. Lautojen yksikköhinta tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen. Kaikista tukeista ei ole saatu lautatavaraa.

Table 39. Volume price of boards according to the knottiness class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I . . . IV of boards are priced separately.

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*											
	1			2			3			Yhteensä — *Total* [1]		
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
13	—	—	—	—	—	—	36,1	2,2	4	36,1	2,2	4
15	41,4	—	1	37,3	5,3	12	37,6	6,2	61	37,6	5,9	79
17	77,1	48,0	12	49,6	17,7	26	43,1	10,1	77	48,1	21,6	115
19	62,6	20,5	18	58,8	23,6	26	45,2	6,8	39	52,9	18,1	86
21	87,5	33,1	22	61,7	23,9	33	47,2	8,6	38	61,7	26,9	94
23	85,7	30,5	20	59,6	26,4	21	47,8	11,9	24	63,3	28,2	65
25	102,8	35,8	24	71,5	29,4	17	50,4	7,7	4	86,3	36,6	45
27	103,8	40,7	28	85,6	44,6	8	55,9	9,6	5	94,4	41,7	41
29	123,0	37,5	10	74,4	27,6	2	—	—	—	109,3	43,0	13
31	149,9	51,5	8	—	—	—	49,5	—	1	138,7	58,6	9
Yht. — *Total* [2]	94,7	41,3	143	59,3	26,3	145	43,5	9,6	254	60,9	33,3	552

[1]) Mukana myös raakkitukit — *Includes even the unmerchantable logs*
[2]) Mukana myös muut läpimittaluokat — *Includes even other diameter classes*

laatuluokkaan kuuluvissa tukeissa ero on merkityksettömän pieni, ja kolmanteen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvissa tukeissa soirojen yksikköhinta on jo selvästi suurempi kuin lautojen. Tämä koskee erityisesti pieniä tukkeja. Suurissa tukeissa lautojen yksikköhinta on yleensä suurempi kuin soirojen.

Kuten aiemmin jo mainittiin, taulukkojen 38 ja 39 mukaan oksaisuuslaatuluokka vaikuttaa lautojen yksikköhintaan enemmän kuin soirojen. Tämä on hyvin ymmärrettävää, kun ajatellaan, että valtaosa soiroista tulee ytimen läheisyydestä, jossa hyvälaatuinenkin puu on yleensä jossakin määrin oksainen.

Kun soirojen ja lautojen arvo lasketaan yhteen ja jaetaan sahatavaran yhteistilavuudella, saadaan sahatavaran keskimääräinen yksikköhinta. Taulukossa 40 sahatavaran yksikköhinta on esitetty oksaisuuslaatuluokan ja latvaläpimitan mukaan.

Taulukosta 40 tehtävät johtopäätökset ovat samansuuntaisia kuin edellä. Niinpä oksaisuuslaatuluokka indikoi selvästi tukista saatavan sahatavaran keskimääräistä yksikköhintaa. Ensimmäiseen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvista tukeista saatavan sahatavaran yksikköhinta on lähes 60 % korkeampi kuin kolmanteen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvista tukeista saatavan sahatavaran yksikköhinta. Ero johtuu osittain järeyden vaikutuksesta: parhaissa tukeissa järeys vaikuttaa keskimääräiseen yksikköhintaan selvästi enemmän kuin huonolaatuisissa tukeissa. Myös niissä läpimitan vaikutus on nähtävissä, mutta varsin lievänä. Samanlainen tulos on saatu myös Vuoriston laajasta aineistosta 1930-luvun lopulta (Heiskanen 1951 c, s. 97—99) sekä myöhemmin simulointitutkimuksissa (Asikainen ja Heiskanen 1970, s. 24) ja eräässä ruotsalaisessa koesahauksessa (Orvér 1970 a, s. 69).

Taulukko 40. Sahatavaran yksikköhinta tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen (erikseen soirot ja laudat).

Table 40. Volume price of sawn goods according to the knottiness class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I . . . IV of sawn goods are priced separately (battens and boards separately).

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*											
	1			2			3			Yhteensä — *Total* [1])		
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
13	—	—	—	46,9	5,5	4	46,1	5,9	31	46,1	5,6	37
15	60,5	4,5	4	51,6	8,0	17	47,7	4,6	71	48,9	6,1	97
17	73,8	17,0	13	57,0	5,6	28	49,8	4,2	79	54,1	10,2	120
19	62,3	6,7	18	58,9	7,8	27	49,5	4,2	39	54,9	8,2	87
21	77,1	19,4	22	59,5	10,2	33	49,8	3,8	38	59,6	15,5	94
23	68,3	15,9	20	55,6	8,0	21	50,2	4,2	24	57,5	12,6	65
25	81,1	20,3	24	61,2	11,7	17	50,4	5,0	4	70,8	19,9	45
27	76,9	16,0	28	64,7	13,2	8	53,0	3,5	5	71,6	16,6	41
29	94,5	22,5	10	63,1	6,8	2	—	—	—	85,9	25,8	13
31	119,7	38,0	8	—	—	—	57,2	—	1	112,7	41,2	9
Yht. — *Total* [2])	77,5	22,3	147	57,7	9,3	157	49,0	4,7	293	58,1	16,9	609

[1]) Mukana myös raakkitukit — *Includes even the unmerchantable logs*
[2]) Mukana myös muut läpimittaluokat — *Includes even other diameter classes*

Myös tarkastelemalla samaa läpimittaluokkaa havaitaan, että oksaisuuslaatuluokan määrittelyllä on pystytty jaottelemaan sangen hyvin yksikköhinnaltaan erilaisia osioita.

Hajonnasta voidaan todeta sama kuin aiemminkin: se alenee selvästi oksaisuuslaatuluokan heiketessä. Niinpä ensimmäiseen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvissa tukeissa hajonta on lähes viisinkertainen kolmanteen oksaisuuslaatuluokkaan verrattuna. Tämä kuvaa hyvin parhaiden tukkien sahatavaran arvon määrittämisen vaikeutta.

Jos tukkien oksaisuuslaatuluokan sijasta tarkastellaan laatuluokkaa, jossa on otettu huomioon oksaisuuden lisäksi myös kaikki muut laatuluokitustekijät, johtopäätökset ovat samat. Niitä ei toisteta tässä yhteydessä, vaan viitataan taulukkoihin 41, 42 ja 43.

Verrattaessa taulukkoja 38 ja 41 havaitaan, että soirojen yksikköhinta on kaikissa laatuluokissa hiukan suurempi kuin vastaavissa oksaisuuslaatuluokissa. Erot ovat kuitenkin suhteellisen vähäiset. Näin ollen ei voida olettaa, että ottamalla oksaisuuden lisäksi huomioon myös muita tekijöitä päästäisiin olennaisesti erilaiseen tukkien luokitukseen.

Kiintoisaa on, että raakkitukeista saatujen soirojen keskimääräinen yksikköhinta oli samaa luokkaa kuin kolmannessa laatuluokassa. Itse asiassa aivan pienimpiä tukkeja lukuun ottamatta raakkitukeiksi luokitelluista tukeista saatiin arvokkaampaa sahatavaraa kuin kolmannen laatuluokan tukeista.

Vastaavalla tavalla voidaan verrata taulukkoja 39 ja 42. Tällöin havaitaan, että myös lautojen osalta laatuluokkien käyttäminen oksaisuuslaatuluokkien sijasta on

Taulukko 41. Soirojen yksikköhinta tukin laatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen.

Table 41. Volume price of battens according to the quality class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I . . . IV of battens are priced separately.

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Laatuluokka — *Quality class* [1]											
	1			2			3			4		
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
13	—	—	—	49,3	8,1	2	51,7	3,2	9	44,2	5,1	26
15	68,2	3,3	2	56,9	7,6	15	50,5	4,7	63	49,3	7,4	17
17	73,9	13,2	9	60,4	6,9	25	52,0	4,2	74	56,5	6,1	12
19	65,0	6,5	10	59,0	6,2	29	51,1	4,0	39	54,7	9,2	9
21	67,3	8,7	14	61,8	12,2	33	52,6	6,4	40	64,8	14,8	7
23	64,8	14,7	14	56,1	6,9	24	50,9	2,9	24	58,1	0,5	3
25	71,7	15,6	17	60,1	11,6	23	50,3	4,0	4	62,0	—	1
27	68,2	10,6	20	63,5	10,0	15	51,9	1,9	5	57,5	—	1
29	81,0	19,3	10	59,5	0,7	2	—	—	—	47,0	—	1
31	115,5	37,9	5	83,8	11,1	3	60,0	—	1	—	—	—
Yht. — *Total* [2]	72,0	18,1	101	60,0	9,8	171	51,5	4,6	260	51,3	9,8	77

[1]) Läpimittaluokittaiset yhteistulokset ovat samat kuin taulukossa 38 — *Totals by diameter classes are the same as in Table 38*
[2]) Mukana myös muut läpimittaluokat — *Includes even other diameter classes*

Taulukko 42. Lautojen yksikköhinta tukin laatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen. Kaikista tukeista ei ole tullut lautatavaraa.

Table 42. Volume price of boards according to the quality class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I . . . IV of boards are priced separately. Boards were not obtained from every log.

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Laatuluokka — *Quality class* [1]											
	1			2			3			4		
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
13	—	—	—	—	—	—	37,2	3,1	2	35,0	0,0	2
15	41,4	—	1	37,3	5,3	12	37,7	6,4	57	37,0	3,3	9
17	73,7	45,1	8	57,7	29,9	24	42,4	7,3	72	46,2	21,4	11
19	64,8	16,3	10	58,3	22,9	28	44,9	7,0	39	57,7	24,0	9
21	80,6	25,4	14	66,3	32,5	33	49,5	13,4	40	71,2	30,2	7
23	85,6	28,2	14	62,5	28,8	24	47,8	11,9	24	89,0	42,0	3
25	104,4	37,9	17	80,7	32,5	23	50,4	7,7	4	52,1	—	1
27	98,5	37,1	20	96,0	44,3	15	55,9	9,6	5	182,0	—	1
29	123,0	37,5	10	74,4	27,6	2	—	—	—	42,7	—	1
31	178,0	38,5	5	103,0	32,3	3	49,5	—	1	—	—	—
Yht. — *Total* [2]	95,7	41,2	99	66,5	33,0	164	43,9	9,9	245	56,2	32,1	44

[1]) Läpimittaluokittaiset yhteistulokset ovat samat kuin taulukossa 39 — *Totals by diameter classes are the same as in Table 39*
[2]) Mukana myös muut läpimittaluokat — *Includes even other diameter classes*

parantanut keskimääräistä lautojen yksikköhintaa kussakin laatuluokassa. Eroja ei voi kuitenkaan pitää suurina toista laatuluokkaa olevia tukkeja lukuunottamatta.

Samoin kuin soirojen, myös raakkitukeista saatujen lautojen keskimääräinen yksikköhinta oli korkeampi kuin kolmannen luokan tukeista saatu. Erityisen selviä

Taulukko 43. Sahatavaran yksikköhinta tukin laatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen (erikseen soirot ja laudat).

Table 43. Volume price of sawn goods according to the quality class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I . . . IV of sawn goods are priced separately (battens and boards separately).

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Laatuluokka — *Quality class* [1]											
	1			2			3			4		
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
13	—	—	—	49,3	8,0	2	51,0	3,6	9	44,1	5,1	26
15	63,0	4,1	2	53,5	6,9	15	47,7	4,4	63	47,9	7,2	17
17	74,3	16,6	9	60,0	10,5	25	49,6	4,0	74	54,1	6,2	12
19	64,3	6,8	10	58,9	7,5	29	49,5	4,2	39	55,2	9,1	9
21	72,2	13,2	14	62,9	18,4	33	51,4	7,7	40	65,5	15,7	7
23	69,5	16,6	14	57,1	10,8	24	50,2	4,2	24	63,2	7,7	3
25	81,8	20,9	17	66,8	16,8	23	50,4	5,0	4	58,7	—	1
27	75,9	16,1	20	70,6	15,6	15	53,0	3,5	5	94,2	—	1
29	94,5	22,5	10	63,1	6,8	2	—	—	—	45,7	—	1
31	137,5	36,3	5	90,0	17,7	3	57,2	—	1	—	—	—
Yht. — *Total* [2]	78,8	23,4	101	61,7	14,4	171	49,7	5,1	260	51,3	11,3	77

[1] Läpimittaluokittaiset yhteistulokset ovat samat kuin taulukossa 40 — *Totals by diameter classes are the same as in Table 40*
[2] Mukana myös muut läpimittaluokat — *Includes even other diameter classes*

erot ovat suurissa tukeissa. Tämä havainto yhdistyneenä aiemmin mainittuun soirojen vertailuun antaa aiheen pohtia, missä määrin laatuluokitus on silloin onnistunut, kun raakkitukeista saadaan arvokkaampaa sahatavaraa. Osittain yllättävä tulos johtuu siitä, että ankaralla lajittelulla voidaan alentaa sahatavarasaantoa, mutta samalla kohottaa keskimääräistä yksikköhintaa. Toisaalta ilmiöön on saattanut vaikuttaa se, että raakkitukkien joukossa on suhteellisen oksattomia tukkeja, jotka ovat jonkin muun syyn vuoksi joutuneet raakkitukeiksi. Esimerkiksi korot ovat tyypillisesti sellaisia vikoja, jotka alentavat saantoa, mutta eivät juuri vaikuta tukista saatujen puhtaiden sahatavarakappaleiden arvoon ainakaan kovin negatiivisesti. Myös koesahauksissa on havaittu korojen arvaamattomuus: joskus niillä on suuri vaikutus, joskus ei juuri ollenkaan (Heiskanen ja Siimes 1959).

Taulukkoja 40 ja 43 vertaamalla voidaan taas todeta, että sahatavaran yksikköhintaa on pystytty hieman kohottamaan siirtymällä oksaisuuslaatuluokista varsinaisiin laatuluokkiin. Eroja on kuitenkin pidettävä pieninä. Ilmeistä onkin, että käytännössä oksaisuus ratkaisee huomattavassa määrin sahatavaran laadun, kuten edellä on jo toistuvasti jouduttu toteamaan. Ilmeisesti ei ole mitään estettä keskittyä pystypuiden arvioinnissa pelkästään oksaisuustunnuksiin. Tähän viittaa epäsuorasti myös se, etteivät laatuluokittaiset yksikköhinnan standardipoikkeamat poikkea olennaisesti oksaisuuslaatuluokkien standardipoikkeamista. Toisin sanoen siirtymällä oksaisuuslaatuluokista laatuluokkien käyttöön ei ole pystytty vähentämään tukkien välistä hajontaa ainakaan yksikköhinnan osalta.

Edellä olevat taulukot perustuvat kaikki sahatavaran laatuluokkien I. . .IV arvosteluun erikseen. Kuten aiemmin on esitetty, mainitut laadut myydään kuitenkin

Taulukko 44. Soirojen yksikköhinta tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla.

Table 44. Volume price of battens according to the knottiness class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I . . . IV of sawn goods are each priced using the same value.

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total* [1]		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
13	—	—	—	46,9	5,5	4	46,4	6,0	31	46,3	5,7	37
15	64,0	7,0	4	56,9	11,4	17	50,4	4,9	71	52,2	7,6	97
17	68,9	4,9	13	60,3	6,8	28	52,2	4,5	79	55,9	7,6	120
19	64,2	7,4	18	59,9	7,3	27	51,1	4,5	39	56,4	8,2	87
21	68,9	5,6	22	60,8	8,6	33	51,4	3,5	38	58,8	9,3	94
23	62,8	7,4	20	55,8	5,2	21	51,0	3,2	24	56,2	7,2	65
25	66,3	7,1	24	56,3	6,0	17	50,3	4,0	4	61,1	8,6	45
27	66,4	7,2	28	59,4	4,2	8	51,9	1,9	5	63,3	8,0	41
29	71,6	9,7	10	61,4	2,0	2	—	—	—	68,2	11,2	13
31	78,6	0,0	8	—	—	—	60,0	—	1	76,5	6,2	9
Yht. — *Total* [2]	67,2	7,6	147	58,6	7,8	157	50,8	4,8	293	56,7	9,3	609

[1]) Mukana myös raakkitukit — *Includes even the unmerchantable logs*
[2]) Mukana myös muut läpimittaluokat — *Includes even other diameter classes*

lähes poikkeuksetta yhdessä lajittelematta, ja tällöin keskihinta ei paljoa riipu sisäisestä jakaumasta.

Taulukossa 44 on esitetty soirojen yksikköhintaa koskevat tulokset, kun u/s-laudan hintaa on merkitty luvulla 100. Tällöin u/s-soiron yksikköhinta on 72.

Taulukkoon 38 verrattuna soiroista saatava yksikköhinta on alentunut ensimmäisen ja toisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa, mutta pysynyt ennallaan kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa. Tämä tulos osoittaa, että parhaista tukeista on tullut hyviä sahatavaran laatuluokkia keskihintaan nähden paljon. Erityisen suuri ero on ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa, joissa yksikköhinta aleni noin 5 %.

Vastaavat lautoja koskevat tulokset on esitetty taulukossa 45. Laatuluokat I. . .IV erikseen huomioon ottavaan hinnoitteluun verrattuna (taulukko 39) yksikköhinta aleni selvästi parhaissa tukeissa, mutta pysyi samana kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa. Ensimmäisessä oksaisuuslaatuluokassa yksikköhinnan aleneminen oli peräti 18 %:n luokkaa, suurissa tukeissa paljon enemmänkin. Tulos osoittaa selvästi, että u/s-laudan keskihinnassa laatuja III ja IV painotetaan niin paljon, että todella hyviä tukkeja sahattaessa sahaustuloksen arvo tulee aliarvioiduksi u/s-laudan keskihintaa käytettäessä. — Tämä on tietysti arvostuskysymys, koska johtopäätökset riippuvat olennaisesti laatujen I, II, III ja IV keskinäisistä arvosuhteista.

Kaikkea sahatavaraa koskevat tulokset on esitetty taulukossa 46. Olennainen ero taulukkoon 40 verrattuna on vain ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa, joissa ero on 10 %:n luokkaa, suurissa tukeissa paljon enemmänkin.

Taulukko 45. Lautojen yksikköhinta tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla.

Table 45. Volume price of boards according to the knottiness class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I . . . IV of sawn goods are priced using the same value.

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total* [1]		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
13	—	—	—	—	—	—	36,1	2,2	4	36,1	2,2	4
15	41,4	—	1	37,5	6,0	12	37,6	6,6	61	37,7	6,3	79
17	63,8	29,3	12	49,9	17,8	26	43,1	9,7	77	46,8	16,0	115
19	60,7	16,9	18	54,9	14,3	26	45,1	6,5	39	51,3	13,4	86
21	76,4	16,1	22	58,3	13,9	33	47,4	9,2	38	57,9	16,9	94
23	74,1	17,0	20	54,3	15,3	21	46,8	9,7	24	57,6	18,0	65
25	85,1	16,8	24	64,0	13,8	17	51,3	9,3	4	74,1	19,4	45
27	82,6	15,8	28	70,0	20,2	8	55,2	7,3	5	76,8	18,4	41
29	92,7	10,0	10	74,4	27,6	2	—	—	—	86,0	18,8	13
31	92,7	11,4	8	—	—	—	49,5	—	1	87,9	17,9	9
Yht. — *Total* [2]	77,5	20,0	143	55,4	16,6	145	43,4	9,2	254	55,4	20,2	552

[1]) Mukana myös raakkitukit — *Includes even the unmerchantable logs*
[2]) Mukana myös muut läpimittaluokat — *Includes even other diameter classes*

Taulukko 46. Sahatavaran yksikköhinta tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla (erikseen soirot ja laudat).

Table 46. Volume price of sawn goods according to the knottiness class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I . . . IV of sawn goods are each priced using the same value (battens and boards separately).

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total* [1]		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
13	—	—	—	46,9	5,5	4	46,1	5,9	31	46,1	5,6	37
15	61,2	4,5	4	53,5	10,0	17	47,7	4,7	71	49,4	6,9	97
17	68,0	7,3	13	58,3	7,0	28	49,9	4,4	79	53,8	8,1	120
19	62,9	6,3	18	59,0	6,6	27	49,6	4,6	39	55,1	8,0	87
21	71,5	8,5	22	59,7	9,4	33	49,9	4,0	38	58,3	11,2	94
23	65,0	8,5	20	55,2	7,2	21	50,0	3,9	24	56,3	9,0	65
25	72,3	9,0	24	58,9	7,7	17	50,7	5,6	4	65,3	11,3	45
27	70,5	8,3	28	61,3	6,3	8	52,7	2,5	5	66,5	9,8	41
29	78,7	6,1	10	64,5	8,8	2	—	—	—	73,9	11,6	13
31	83,5	4,0	8	—	—	—	57,2	—	1	80,5	9,5	9
Yht. — *Total* [2]	70,0	9,3	147	57,8	8,2	157	49,0	4,8	293	56,3	11,1	609

[1]) Mukana myös raakkitukit — *Includes even the unmerchantable logs*
[2]) Mukana myös muut läpimittaluokat — *Includes even other diameter classes*

Kiintoisaa on, että hinnoiteltaessa u/s-laatu keskihinnalla laatuja I. . .IV erottelematta hajonta pienenee parhaissa tukeissa olennaisesti erillishinnoitteluvaihtoehtoon verrattuna. Hajonta on edelleen kyllä suurempi kuin kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa, mutta suhteelliset erot ovat alentuneet olennaisesti. Ilmeisesti käy-

tännössä kannattaa tukeittaisessa koesahauksessa hinnoitella sahatavarakappaleet mieluummin keskihinnalla kuin laadut I. . . IV erikseen, koska tällöin tarvitaan pienempi otos määrätarkkuuteen pyrittäessä.

Kun u/s-laudan yksikköhintaa merkitään luvulla 100, ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeista saatavien soirojen tukkien välinen yksikköhinnan standardipoikkeama on noin 8, lautojen noin 20 ja sahatavaran kokonaisuudessaan noin 10 (taulukot 44. . .46). Näin ollen yksikköhinnan maksimivirhe 95 %:n todennäköisyydellä on soiroilla 3,5, laudoilla 8,8 ja sahatavaralla 4,4, kun tukkeja sahataan Heiskasen (1968 b) esittämä 20 kpl. Luvuista voidaan laskea vastaavalla tavalla otoksen koko määrätarkkuuteen pyrittäessä.

Kun eräissä tapauksissa tarvitaan yhtälömuotoista tietoa kuorellisen läpimitan vaikutuksesta sahatavaran yksikköhintaan, laskettiin taulukoissa 40 ja 46 esitetyistä tiedoista painotetut regressioanalyysit käyttäen mallia $y = a + b_1 d_t + b_2 d_t^2$. Seuraavissa tuloksissa y_5 = sahatavaran yksikköhinta, kun u/s-lauta on 100 ja sahatavaralaadut I. . .IV on hinnoiteltu erikseen, y_6 = sahatavaran yksikköhinta, kun u/s-lauta on 100 ja sahatavaralaadut I. . .IV on hinnoiteltu samalla arvolla (soirot ja laudat erikseen), sekä d_t on tukin kuoreton latvaläpimitta.

Selitettävä tekijä	Oksaisuuslaatuluokka	Vakio	b_1	b_2	R^2, %
y_5	1	92,6	—4,165	0,1398	72,0
	2	12,0	3,939	—0,08029	62,0
	3	35,5	1,156	—0,02126	73,9
	Yhteensä	40,2	—0,1172	0,04753	90,1
y_6	1	87,7	—2,849	0,08667	84,1
	2	18,1	3,516	—0,07452	43,1
	3	36,7	1,011	—0,01711	74,3
	Yhteensä	37,8	0,3906	0,02608	92,1

Käytännössä on tärkeä tietää, kuinka koko sahatavaran yksikköhinta tai lautojen yksikköhinta riippuu soirojen yksikköhinnasta ja tukin kuorettomasta latvaläpimitasta. Jos tämä riippuvuus tiedetään, monien sahalaitosten tilastotiedoista voidaan laskea erikokoisten tukkien arvosuhteet. Menettelytapa perustuu siihen, että eri soiro- ja lankkukokoja sahataan yleensä vain tietynkokoisista tukeista. Näin ollen eri sydäntavaralajeja koskevat hinta- ja laatutiedot voidaan kohdentaa tiettyihin tukkien läpimittaluokkiin ja saada selville sydäntavaran osalta tukkien arvosuhteet. Lautoja ei sitä vastoin yleensä voida kohdentaa samalla tavalla, koska samankokoisia lautoja voidaan saada hyvin erikokoisista tukeista. Näin ollen lautojen arvo on arvioitava sydäntavaran ja tukin koon perusteella.

Em. riippuvuuksien selvittämiseksi laskettiin kiinteällä regressiomallilla seuraavat yhtälöt, kun u/s-laudan yksikköhintaa merkittiin luvulla 100 ja sahatavaralaadut I. . .IV hinnoiteltiin erikseen.

Selitettävä tekijä: lautojen yksikköhinta y_7

Selittäjät	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Vakio	80,2		
Sydäntavaran yksikköhinta x_7	— 0,1861	0,5	0,0
Sen neliö x_7^2	— 0,01224	5,3	1,8
Kuoreton latvaläpimitta d_t, cm	— 7,345	4,4	1,2
d^2_t, cm^2	0,008695	0,2	0,0
$x_7 \cdot d_t$	0,1512	7,5	3,6

R^2 = 61,3 %
F = 191 (5,603)
$s_{y.x}$ = 19,8

Selitettävä tekijä: sahatavaran yksikköhinta y_5

Selittäjät	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Vakio	12,4		
Sydäntavaran yksikköhinta x_7	0,8232	9,0	1,2
Sen neliö x_7^2	— 0,003123	5,4	0,4
Kuoreton latvaläpimitta d_t, cm	— 1,683	4,0	0,2
d^2_t, cm^2	0,003924	0,3	0,0
$x_7 \cdot d_t$	0,03533	6,9	0,7

R^2 = 91,4 %
F = 1 287 (5,603)
$s_{y.x}$ = 5,0

Edellä esitettyjä tuloksia sahatavaran yksikköhinnoista voidaan verrata muiden tutkimusten tuloksiin vain suhteellisesti, jolloin voidaan tarkastella mm. läpimitan vaikutusta. Kuvassa 35 on esitetty vertailu uusimpiin Heiskasen (1976) tuloksiin, kun läpimittaluokan 13 cm sahatavaran yksikköhintaa on merkitty luvulla 100. — Vertailu ei ole kuitenkaan täysin tarkka, koska vertailututkimuksessa on käytetty alenevaa latvaläpimitan luokitusta.

Tuloksien ainoa yhteinen piirre on, että sahatavaran yksikköhinta nousee tarkastellulla välillä likimain lineaarisesti läpimitan kasvaessa. Heiskasen (1976, s. 45) tutkimuksessa kasvunopeus oli kuitenkin alle puolet siitä mitä käsillä olevassa tutkimuksessa havaittiin. Tällaista eroa voi pitää kohtuuttoman suurena. Syynä on ilmeisesti erilainen tutkimustekniikka. Vertailututkimuksen tulokset ovat liian alhaisia ainakin siksi, että lautojen laatujakauma on oletettu samaksi kussakin läpimittaluokassa, jos dimensiot ovat samat, kuten mainitussa tutkimuksessa itsessäänkin todetaan (s. 11). Tämä ilmiö ei kuitenkaan voi selittää kuin vähäisen osan havaitusta erosta.

Luultavin eron syy on siinä, että käsillä olevan tutkimuksen aineisto on otettu samoilta leimikoilta siten, että järeät tukit ovat pääasiassa hyvälaatuisia tyvitukkeja ja pienet tukit vastaavasti latvatukkeja, joiden laatu on ilman muuta heikko. Sitä vastoin vertailututkimuksen laatujakaumat perustuvat sahojen tilastoihin erikokoi-

sista soiroista ja laudoista. Näin ollen mukana on epäilemättä myös heikkolaatuisia järeitä tukkeja liian harvana kasvaneista metsistä, karujen maiden pienikokoisia, mutta hyvälaatuisia tyvitukkeja jne.

On syytä olettaa, että Heiskasen (1976) tulokset ovat lähempänä eteläsuomalaista keskimääräistä kuvaajaa kuin käsillä olevan tutkimuksen tulokset, koska tilastot ovat otantavirhettä vailla ja siten edustavat paremmin todellista tilannetta. Toisaalta nyt koesahattujen tukkien tuleminen hyvin tavanomaisilta leimikolta panee epäilemään, että tavanomaisten leimikkojen ollessa kyseessä nykyinen käsitys latvaläpimitan vaikutuksesta sahatavaran yksikköhintaan on liian konservatiivinen: erilaisten tukkien arvellaan olevan lähempänä keskiarvoa kuin ne todellisuudessa ovat. Kun kuitenkin tämä epäily perustuu vain nyt tutkittuun aineistoon, kysymyksen erillinen selvittely olisi paikallaan.

44. Sahatavaran laatujakauma

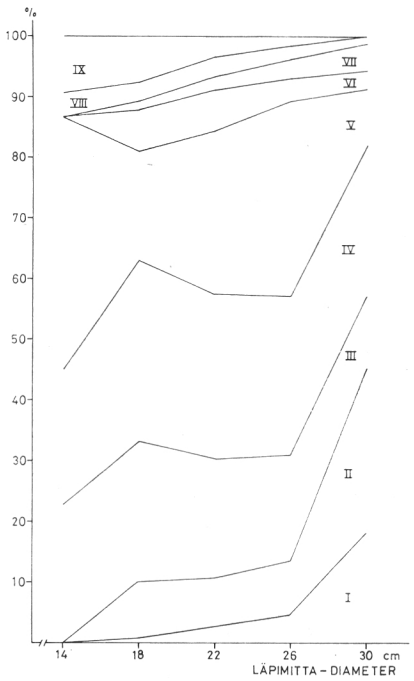
Vaikka edellä onkin tarkasteltu kahdella tavalla laskettua sahatavaran arvoa oksaisuuslaatuluokan tai yleisen laatuluokan sekä latvaläpimitan mukaan, on tarpeen vielä tarkastella sahatavaran jakautumista eri laatujen kesken. Kun jakauma tiedetään, laskelmat voidaan tehdä mielivaltaisilla hintasuhteilla ja esim. ratkaista kysymys, onko jotakin tiettyä laatua niin runsaasti, että se voidaan ottaa muista laaduista erilleen.

Aluksi tarkastellaan latvaläpimitan vaikutusta jakaumaan eri oksaisuuslaatuluokan tukeissa. Tällöin tarkastellaan soiroja ja lautoja yhdessä. Pienissä tukeissa luonnollisesti soirojen osuus on ylivoimainen, mutta se pienenee tukin suuretessa.

Kuvassa 36 on esitetty ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkeja koskevat tulokset. Voidaan havaita, että paras sahatavaralaatu lisääntyy voimakkaasti läpimitan kasvaessa. Myös sekunda lisääntyy, mutta suhteellisesti vähemmän. Sitä vastoin tertia vähenee ja jossakin määrin myös kvartta. Kokonaisuudessaan kuitenkin u/s-sahatavaran osuus lisääntyy voimakkaasti tukin latvaläpimitan kasvaessa. Tällä on myös käytännöllistä merkitystä, kun kuvassa 36 tarkastellulla vaihteluvälillä u/s-sahatavaran osuus kohoaa lähes kaksinkertaiseksi.

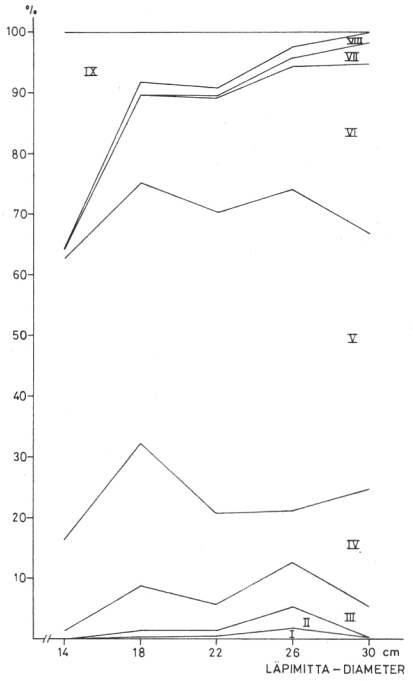
Kuvasta 36 voidaan edelleen havaita, että vajaasärmälaatujen osuus alenee hieman tukin latvaläpimitan kasvaessa. Samalla vajaasärmän rakenne muuttuu: arvokas oksaton vajaasärmä lisääntyy muiden vajaasärmälaatujen kustannuksella. Kun tällaisen sahatavaralajin hinta on yleensä u/s-sahatavaran veroinen, sillä on merkitystä jo tuottojenkin kannalta.

Toisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa läpimitan vaikutus on erilainen. Kuvan 37 mukaan u/s-laadun osuus pysyy likimain vakiona. Tässä tapauksessa osuus on poikkeuksellisen alhainen, vain 20...30 %. Myös kvintan osuus pysyy likimain samana läpimitasta riippumatta. Ainoa olennainen muutos on, että sekstalaatu lisääntyy vajaasärmälaatujen kustannuksella läpimitan kasvaessa. Mikäli vajaasärmälaadut luetaan sekstaan, kuten usein tehdään, kaikkien sahatavaralaatujen voidaan sanoa olevan läpimitasta riippumattomia.



Kuva 36. Sahatavaran laatujakauma I . . . IV sekä laadut oksaton vajaasärmä (VIII) ja vientivajaasärmä (IX) ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 36. Grades I . . . VI and wane grades VII . . . IX of sawn goods from the logs of the first knottiness class according to the top diameter u.b. of log.

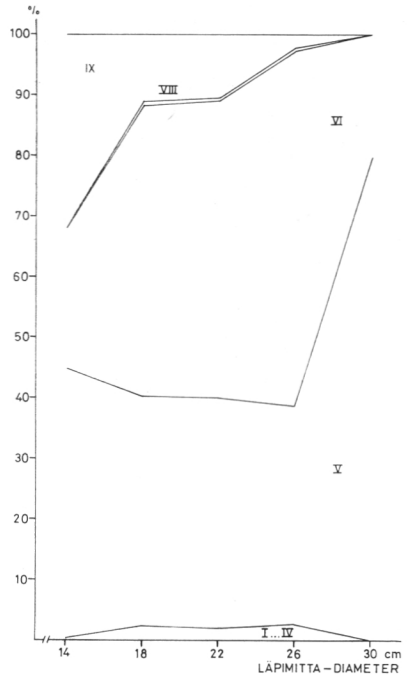


Kuva 37. Sahatavaran laatujakauma I . . . VI sekä laadut oksaton vajaasärmä (VII), höylävajaasärmä (VIII) ja vientivajaasärmä (IX) toisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 37. Grades I . . . VI and wane grades VII . . . IX of sawn goods from the logs of the second knottiness class according to the top diameter u.b. of log.

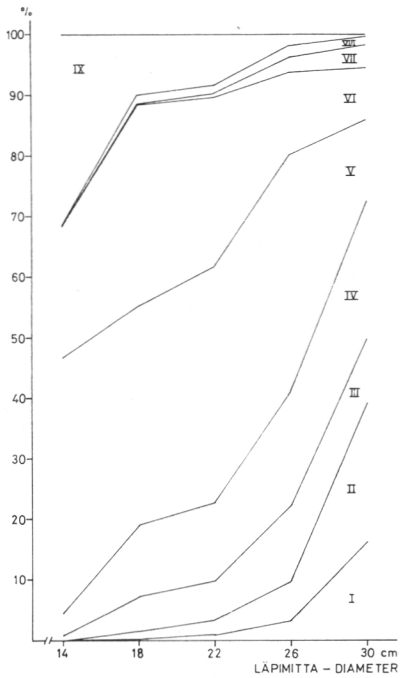
Kuvassa 38 on esitetty vastaavat riippuvuudet kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa. U/s-laatua on kaiken kaikkiaan merkityksettömän vähän. Kvintan osuus lisääntyy erityisesti kaikista järeimmissä tukeissa ja sekstan osuus vastaavasti vähenee. Samoin kuin muissakin tukkilajeissa, vajaasärmän osuus alenee sekstan kustannuksella läpimitan kasvaessa.

Mikäli tukkeja ei jaeta oksaisuuden mukaan luokkiin, vaan sahatavaran laatujakaumaa tarkastellaan pelkästään läpimitan mukaan, saadaan kuvassa 39 esitetyt tulokset. Tällöin niihin vaikuttaa huomattavasti se, että parhaat tukit ovat järeämpiä kuin heikkolaatuiset tukit. Näin ollen aiemmin tarkastellut ilmiöt korostuvat. Niinpä kuvasta 39 voidaan havaita, kuinka u/s-laadun osuus kasvaa tarkastellulla läpimitan vaihteluvälillä yli kymmenkertaiseksi. Samalla sen sisäinen jakauma paranee: priiman ja sekundan suhteellinen osuus lisääntyy tertian ja kvartan kustannuksella.



Kuva 38. Sahatavaran laatujakauma I . . . VI sekä laadut höylävajaasärmä (VIII) ja vientivajaasärmä (IX) kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 38. Grades I . . . VI and wane grades VIII and IX of sawn goods from the logs of the third knottiness class according to the top diameter u.b. of log.



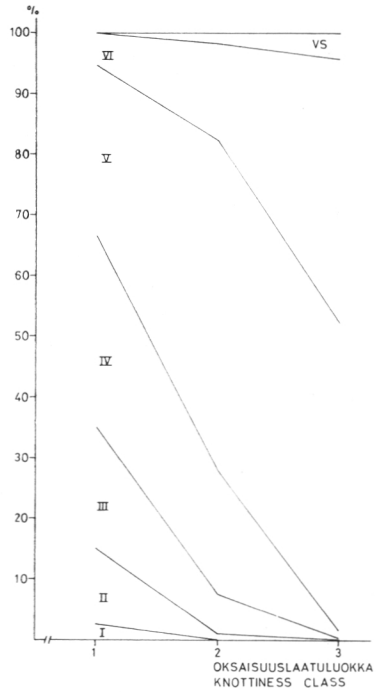
Kuva 39. Sahatavaran laatujakauma I . . . VI sekä laadut oksaton vajaasärmä (VII), höylävajaasärmä (VIII) ja vientivajaasärmä (IX) kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 39. Grades I . . . VI and wane grades VII . . . IX of sawn goods according to the top diameter u.b. of log.

Samalla kun u/s-laadun osuus lisääntyy, kvintan ja sekstan osuus supistuu. Lisäksi vajaasärmälaatujen osuus alenee ja sisäinen laatujakauma paranee. — Kaiken kaikkiaan vajaasärmää on vähän 1960-luvun aineistoihin verrattuna, koska heikoimmat pintalaudat jätettiin tekemättä (Heiskanen ja Asikainen 1969, s. 56).

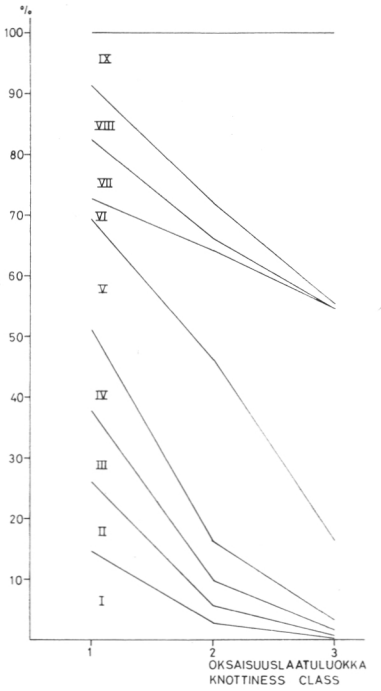
Kuvassa 39 esitettyjä tuloksia ei voida yleistää kovin laajalti aineiston suppeuden vuoksi. Kun kuitenkin kyseessä ovat tukit, jotka on saatu kokonaisista rungoista, tulokset palvelevat hyvänä esimerkkinä järeyden merkityksestä laadun osoittajana.

Jakaumatuloksia voidaan tarkastella myös tukin oksaisuuslaatuluokan mukaan. Tällöin voidaan tarkastella soiroja ja lautoja erikseen tai koko sahatavaraa yhdessä. Tätä tarkastelua ei ole tehty läpimittaluokittain, vaan oksaisuuslaatuluokassa heijastuu myös järeyden vaikutus. Niinpä ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukit ovat järeämpiä kuin toisen tai kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukit.



Kuva 40. Soirojen laatujakauma I...VI sekä vajaasärmä (VS) tukin oksaisuuslaatuluokan mukaan.

Fig. 40. Grades I...VI and the wane grade (VS) of battens according to the knottiness class of log.



Kuva 41. Lautojen laatujakauma I...VI sekä laadut oksaton vajaasärmä (VII), höylävajaasärmä (VIII) ja vientivajaasärmä (IX) tukin oksaisuuslaatuluokan mukaan.

Fig. 41. Grades I...VI and wane grades VII...IX of boards according to the knottiness class of log.

Kuvassa 40 on esitetty soiroja koskevat tulokset. U/s-laadun osuus vähenee alle kymmenesosaan ensimmäisestä oksaisuuslaatuluokasta kolmanteen oksaisuuslaatuluokkaan siirryttäessä. Samalla sen sisäinen jakauma huononee: priima katoaa kokonaan ja sekunda sekä tertia supistuvat merkityksettömiksi. Oksaisimmissa tukeissa tavataan vain kvarttaa ja sitäkin erittäin niukasti.

Huomattava kuitenkin on, että myös kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa kvintta on hieman yleisempi laatu kuin seksta. Vajaasärmäiset soirot, jotka tässä on otettu erilleen sekstasta, lisääntyvät oksaisuuslaatuluokan heiketessä. Ilmeisesti syynä on voimakkaaseen oksaisuuteen liittyvä tukin pinnan epätasaisuus, jolloin vajaasärmää esiintyy oksakyhmyjen välisillä alueilla tukin latvapäässä, vaikka asete olisi oikein valittu.

Laatujakauma on olennaisesti erilainen kuin mitä havaittiin vuosina 1949...1961 suoritetuissa laajoissa koesahauksissa. Esimerkiksi kolmannen laatuluokan tukeista

saaduissa soiroissa u/s-laatujen osuus oli yli 20 %, kun se käsillä olevassa tutkimuksessa oli vain 1,5 % (Siimes 1954, Asikainen ja Heiskanen 1970, s. 17). Myös parhaista tukeista saatiin vähemmän u/s-sahatavaraa kuin mitä em. tutkimuksissa.

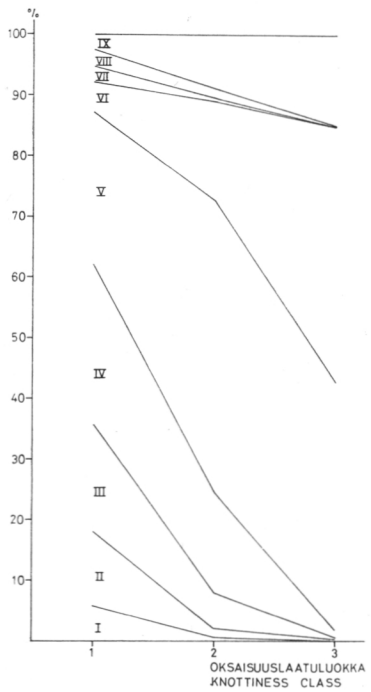
Syy selvästi erilaisiin tuloksiin jää epävarmaksi. Kun tukkien laatuluokitus oli likimain sama, todennäköisimmäksi syyksi jää lajittelun kiristyminen. Tämä on ollut yleinen trendi koko tämän vuosisadan ajan: esim. Jussila (1936, s. 61) mainitsee, että vuosisadan alussa jopa kvintan osuus oli merkityksettömän pieni, mutta se on suurentunut u/s-laadun ja kvintan kiristyneiden vaatimusten vuoksi jatkuvasti. Sama trendi on ollut nähtävissä yhtä lailla toisen maailmansodan jälkeen (esim. Heiskanen 1959). — Toisaalta myös raaka-aine lienee huonontunut, ei niinkään puuston muuttumisen vuoksi, vaan siksi, että minimilatvaläpimitan pienetessä on oksaisten pieniläpimittaisten latvatukkien osuus kasvanut. Tähän viittaa mm. se, että Saaren (1932) julkaiseman tilaston mukaan eteläsuomalaisista sahapuurungoista otettiin vuosina 1920. . .1926 keskimäärin vain 1,52. . .1,81 tukkia, kun esim. käsillä olevan tutkimuksen aineistossa vastaava luku oli 2,11. Yleensäkin 1970-luvulla tehdyissä mittaustutkimuksissa on rungosta otettujen tukkien luku selvästi yli 2, kuten alle 50 % olevat tyvien osuudet osoittavat (esim. Heiskanen ja Rikkonen 1971, 1976).

Kuvassa 41 on esitetty vastaavat tulokset lautojen osalta. Myös tällöin havaitaan u/s-laadun voimakas aleneminen tukin oksaisuuslaatuluokan heiketessä. Kiintoisaa kuitenkin on, että oksaisimmissa tukeissa sekstaa on selvästi enemmän kuin kvinttaa. Tukin pinnalta havaittava oksaisuus vaikuttaa siis lautoihin enemmän kuin soiroihin. Tämä on hyvin ymmärrettävää sikäli, että myös pinnalta hyvälaatuisissa tukeissa ytimen läheisyydessä on välttämättä eläviä oksia, jopa parhaissa tukeissa. Lisäksi samaan suuntaan vaikuttaa oksien läpimitan suureneminen ytimestä pintaan päin sekä elävien oksien muuttuminen kuolleiksi oksiksi.

Kuvassa 41 huomiota kiinnittää myös vajaasärmän voimakas lisääntyminen tukin oksaisuusluokan heiketessä. Ilmeisesti tässä on pääosin kyseessä läpimitan vaikutus, koska kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukit olivat selvästi pienempiä kuin parhaat tukit.

Myös lautojen osalta tulokset ovat olennaisesti erilaisia kuin mitä on saatu aiemmissa koesahauksissa: u/s-laatujen osuus on pienempi. Esim. Asikainen ja Heiskanen (1970, s. 19) mainitsevat, että kolmannen luokan mäntytukeissa sisemmistä sivulaudoista olisi u/s-laatua 21 % ja ulommista 6 %. Käsillä olevassa tutkimuksessa u/s-laadun osuus kaikista sivulaudoista oli kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa vain 3,1 %. Eron syytä pohdittaessa huomiota kiinnittää aikaero: olennaisesti vertailutulokset ovat peräisin 1950-luvun alusta.

Kuvassa 42 on esitetty soiroja ja lautoja koskevat yhteiset tulokset. Tällöin soiroja ja lautoja on painotettu niiden tilavuuksien suhteessa. Niinpä tulokset vastaavat varsin paljon soiroista tehtyjä päätelmiä.



Kuva 42. Sahatavaran laatujakauma I . . . VI sekä laadut oksaton vajaasärmä (VII), höylävajaasärmä (VIII) ja vientivajaasärmä (IX) tukin oksaisuus- laatuluokan mukaan.

Fig. 42. Grades I . . . VI and wane grades VII . . . IX of sawn goods according to the knottiness class of log.

45. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti

Edellä on tarkasteltu erikseen saantoa ja sahatavaran yksikköhintoja. Kun nämä tiedot yhdistetään, saadaan selville sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti. Jäljempänä tarkastellaan näin yhdistettyjä tietoja. On kuitenkin otettava huomioon, että saantoluvut perustuvat kenttäpyörösahaukseen, eivätkä ne ole näin ollen ilman muuta yleistettävissä varsinaisilla tuotantosahalaitoksilla saataviin lukuihin. — Kenttäpyörösahauksen saantoluvuiksi niitä on pidettävä normaaleina, joskin vertailua vaikeuttaa ilmeisesti erilainen laskentatapa eri tutkimuksissa (esim. Klem ja Karlsen 1951, s. 12, Granvik 1957, s. 843, Øy 1974, s. 284, Magnusson 1976, s. 44). Kenttäpyörösahauksessa saanto lienee yleensä korkeampi kuin kaupallisilla kehäsahalaitoksilla, koska tukit voidaan käsitellä yksilöllisemmin. Joka tapauksessa saantoluvut ovat varsin normaaleja myös kehäsahaukseen verrattuna (ks. myös Heiskanen 1966).

Tarvittaessa voidaan kuitenkin saantoluvut määrittää erikseen esim. tilastoista ja yhdistää nämä tiedot edellä esitettyihin yksikköhintoihin. Jäljempänä seuraavassa tarkastelussa on joka tapauksessa käytetty kenttäpyörösahauksen saantolukuja, eikä niitä ole tasoitettu tukin latvaläpimitan mukaan. Näin menetellen voidaan tarkastella myös hajontalukuja.

Taulukko 47. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan arvo sahatavaran tilavuusyksikköä kohti on 10 000. Tukin kuorellinen tilavuus on laskettu Newtonin kaavalla. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen (erikseen soirot ja laudat).

Table 47. Price of sawn goods per log volume according to the knottiness class and top diameter of log. u.b. Price of u/s-board per sawn goods volume is 10 000. Log volume incl. bark is based on Newton rule. Grades I . . . IV of sawn goods are priced separately (battens and boards separately).

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total* [1]		
	1			2			3					
	x̄	x	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
13	—	—	—	2 256	468	4	2 229	288	31	2 217	303	37
15	2 607	763	4	2 435	780	17	2 445	291	71	2 439	431	97
17	3 290	888	13	2 497	301	28	2 574	284	79	2 633	455	120
19	2 791	400	18	2 626	346	27	2 581	351	39	2 635	361	87
21	3 400	801	22	2 770	425	33	2 622	255	38	2 851	577	94
23	3 142	708	20	3 733	427	21	2 827	281	24	2 893	513	65
25	3 739	804	24	3 098	448	17	2 577	132	4	3 393	756	45
27	3 614	704	28	3 146	772	8	3 139	572	5	3 465	721	41
29	4 506	1 071	10	3 124	208	2	—	—	—	4 158	1 144	13
31	5 351	1 708	8	—	—	—	3 097	—	1	5 101	1 766	9
Yht. — *Total* [2]	3 536	1 015	147	2 701	512	157	2 547	338	293	2 821	735	609

[1]) Mukana myös raakkitukit — *Includes even the unmerchantable logs*
[2]) Mukana myös muut läpimittaluokat — *Includes even other diameter classes*

Taulukossa 47 on tarkasteltu sahatavaran arvoa tukin tilavuusyksikköä kohti oksaisuusluokan ja latvaläpimitan mukaan. Tällöin on merkitty u/s-laudan arvoa sahatavaran tilavuusyksikköä kohti luvulla 10 000. Näin menetellen sahatavaran arvo tukin kuorellista tilavuusyksikköä kohti on muutamia tuhansia.

Taulukon mukaan eri oksaisuuslaatuluokkien tukit poikkeavat huomattavasti toisistaan. Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa sahatavaran arvo tukin tilavuutta kohti on lähes 40 % suurempi kuin kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa. Sahatavaran yksikköhintoihin verrattuna ero on pienentynyt huomattavasti johtuen siitä, että aiemmin tarkastellut saantoluvut kohosivat tukin oksaisuuslaatuluokan heiketessä. Erityisen vähäiseksi ero on kaventunut toiseen ja kolmanteen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvien tukkien välillä. Vaikka toisen oksaisuuslaatuluokan tukit ovat järeämpiä, sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti on vain 6 % suurempi. Eroa voi pitää todella vähäisenä.

Kaikissa oksaisuuslaatuluokissa tukin läpimitta vaikuttaa sahatavaran arvoon, joka on laskettu tukin tilavuusyksikköä kohti. Kaikissa oksaisuusluokissa tämä johtuu saannon paranemisesta läpimitan suuretessa, mutta parhaissa tukeissa myös yksikköhinnan samansuuntaisesta kohoamisesta. Näin ollen eri oksaisuuslaatuluokkien erot suurenevat tukin kasvaessa.

Taulukossa 47 arvoluvut on laskettu tukin tarkkaa tilavuutta kohti. Taulukossa 48 arvo on puolestaan laskettu tukin taulukoista saatavaa tilavuutta kohti. Johtopäätökset ovat olennaisesti samat, joskin numeroarvot muuttuvat. Niinpä parhaan oksaisuuslaatuluokan arvo kasvaa tukin tilavuutta kohti, mutta toisen ja kolmannen

Taulukko 48. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan arvo sahatavaran tilavuusyksikköä kohti on 10 000. Tukin kuorellinen tilavuus on otettu taulukosta. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen (erikseen soirot ja laudat).

Table 48. Price of sawn goods per log volume according to the knottiness class and top diameter of log u.b. Price of u/s-board per sawn goods volume is 10 000. Log volume incl. bark is based on table. Grades I . . . IV of sawn goods are priced separately (battens and boards separately).

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total* [1]		
	1			2			3					
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
13	—	—	—	1 837	301	4	1 981	277	31	1 962	273	37
15	2 187	441	4	2 172	432	17	2 244	331	71	2 235	351	97
17	3 308	934	13	2 439	295	28	2 386	289	79	2 498	493	120
19	2 781	542	18	2 630	431	27	2 402	321	39	2 553	430	87
21	3 493	856	22	2 686	441	33	2 515	298	38	2 804	648	94
23	3 225	780	20	2 656	365	21	2 561	290	24	2 796	580	65
25	3 811	892	24	2 997	379	17	2 417	286	4	3 379	846	45
27	3 713	826	28	3 041	821	8	2 701	691	5	3 458	883	41
29	5 106	1 508	10	3 073	165	2	—	—	—	4 583	1 650	13
31	5 791	2 252	8	—	—	—	2 316	—	1	5 405	2 404	9
Yht. — *Total* [2]	3 646	1 237	147	2 608	491	157	2 351	356	293	2 729	877	609

[1]) Mukana myös raakkitukit — *Includes even the unmerchantable logs*
[2]) Mukana myös muut läpimittaluokat — *Includes even other diameter classes*

oksaisuuslaatuluokan arvo hieman laskee. Näin ollen mm. ensimmäisen ja kolmannen oksaisuuslaatuluokan ero suurenee: parhaissa tukeissa sahatavaran arvo tukin tilavuutta kohti on 55 % suurempi kuin kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa.

Jos oksaisuuslaatuluokan sijasta tarkastellaan kaikkien laatutekijöiden perusteella määräytyvää laatuluokkaa, johtopäätökset pysyvät olennaisesti samoina. Kaikissa laatuluokissa sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti on kuitenkin suurempi kuin vastaavissa oksaisuuslaatuluokissa. Erot ovat kuitenkin vähäiset.

Taulukossa 49 on esitetty tällaiset tulokset, kun tukin tilavuus perustuu tarkkoihin kuorellisiin läpimittoihin. Ero ensimmäisen ja kolmannen laatuluokan välillä on yli 40 %. Osittain tämä johtuu järeyserosta, mutta myös sen eliminoinnin jälkeen, ts. tarkastelemalla samoja latvaläpimittaluokkia, erot ovat huomattavat. Sitä vastoin myös tässä tapauksessa ero toisen ja kolmannen laatuluokan välillä on alhainen, keskimäärin vain 12 %.

Kiintoisaa myös on, että raakkitukkien arvo tukin tilavuusyksikköä kohti on suhteellisen korkea kolmannen laatuluokan tukkeihin verrattuna. Ero on ainoastaan 10 %. Tämäkin ero johtuu pääasiassa saantoluvuista, kuten aiemmin todettiin: sahatavarayksikköä kohti laskettu arvo oli raakkitukeissa nimittäin jopa suurempi kuin kolmannen laatuluokan tukeissa.

Taulukossa 50 on esitetty vastaavat luvut tukin taulukoista todettavaa tilavuutta kohti. Johtopäätökset ovat olennaisesti samat, vaikka lukuarvot muuttuvatkin. Niinpä ensimmäisen ja kolmannen laatuluokan ero on tässä tapauksessa suurempi kuin aiemmin, lähes 60 %. Myös erilaisen järeyden eliminoinnin jälkeen erot ovat

Taulukko 49. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti tukin laatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan arvo sahatavaran tilavuusyksikköä kohti on 10 000. Tukin kuorellinen tilavuus on laskettu Newtonin kaavalla. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen (erikseen soirot ja laudat)

Table 49. Price of sawn goods per log volume according to the quality class and top diameter of log u.b. Price of u/s-board per sawn goods volume is 10 000. Log volume incl. bark is based on Newton rule. Grades I . . . IV of sawn goods are priced separately (battens and boards separately).

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Laatuluokka — *Quality class* [1]											
	1			2			3			4		
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
13	—	—	—	2 252	759	2	2 287	186	9	2 190	309	26
15	3 194	113	2	2 519	776	15	2 454	300	63	2 224	332	17
17	3 364	811	9	2 698	492	25	2 576	290	74	2 306	292	12
19	2 998	338	10	2 650	329	29	2 582	351	39	2 417	271	9
21	3 280	426	14	2 961	749	33	2 650	285	40	2 626	649	7
23 . . .	3 250	778	14	2 812	424	24	2 827	281	24	2 409	386	3
25	3 825	821	17	3 260	566	23	2 577	132	4	2 391	—	1
27	3 581	722	20	3 394	783	15	3 139	572	5	3 828	—	1
29	4 506	1 071	10	3 124	208	2	—	—	—	2 745	—	1
31	6 186	1 651	5	3 959	338	3	3 097	—	1	—	—	—
Yht. — *Total* [2]	3 671	1 039	101	2 899	651	171	2 586	332	260	2 321	403	77

[1]) Läpimittaluokittaiset yhteistulokset ovat samat kuin tauukossa 47 — *Totals by diameter classes are the same as in Table 47*
[2]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

Taulukko 50. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti tukin laatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan arvo sahatavaran tilavuusyksikköä kohti on 10 000. Tukin kuorellinen tilavuus on taulukosta. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen (erikseen soirot ja laudat).

Table 50. Price of sawn goods per log volume according to the quality class and top diameter of log u.b. Price of u/s-board per sawn goods volume is 10 000. Log volume incl. bark is based on table. Grades I . . . IV of sawn goods are priced separately (battens and boards separately).

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Laatuluokka — *Quality class* [1]											
	1			2			3			4		
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
13	—	—	—	1 722	452	2	1 993	271	9	1 970	265	26
15	2 518	348	2	2 248	378	15	2 231	328	63	2 203	421	17
17	3 358	926	9	2 596	552	25	2 399	291	74	2 264	167	12
19	2 980	593	10	2 648	408	29	2 400	323	39	2 437	352	9
21	3 319	638	14	2 889	797	33	2 557	355	40	2 789	591	7
23	3 304	864	14	2 768	449	24	2 561	290	24	2 525	228	3
25	3 829	914	17	3 235	675	23	2 417	286	4	2 893	—	1
27	3 727	826	20	3 348	919	15	2 701	691	5	3 530	—	1
29	5 106	1 508	10	3 073	165	2	—	—	—	2 372	—	1
31	6 856	2 201	5	4 016	705	3	2 316	—	1	—	—	—
Yht. — *Total* [2]	3 790	1 318	101	2 827	704	171	2 394	357	260	2 255	441	77

[1]) Läpimittaluokittaiset yhteistulokset ovat samat kuin taulukossa 47 — *Totals by diameter classes are the same as in Table 47*
[2]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

huomattavat. — Nykyhetken mittauskäytäntöä ajatellen juuri taulukon 50 luvut ovat käyttökelpoisimmat, joskin on otettava huomioon aiemmin mainittu saantolukujen mahdollinen harhaisuus tuotantosahauksessa käytettyihin sahausmenetelmiin verrattuna.

Taulukko 51. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan, kun u/s-laudan arvo on sahatavaran tilavuusyksikköä kohti 10 000. Laadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla (erikseen soirot ja laudat). Tukin kuorellinen tilavuus on laskettu Newtonin kaavalla.

Table 51. Price of sawn goods per log volume according to the knottiness class and top diameter of log. Price of u/s-board per sawn goods volume is 10 000. Grades I . . . IV are priced each using the same value (battens and boards separately). Log volume with bark is based on Newton's rule.

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total* [1]		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
13	—	—	—	2 256	468	4	2 229	288	31	2 217	303	37
15	2 623	712	4	2 509	790	17	2 447	295	71	2 457	434	97
17	3 015	446	13	2 554	329	28	2 579	291	79	2 620	345	120
19	2 819	424	18	2 634	337	27	2 587	357	39	2 646	368	87
21	3 161	354	22	2 777	376	33	2 625	254	38	2 799	388	94
23	2 993	403	20	2 719	421	21	2 816	279	24	2 839	379	65
25	3 352	358	24	2 995	362	17	2 590	121	4	3 149	419	45
27	3 328	446	28	2 976	543	8	3 127	581	5	3 235	491	41
29	3 761	375	10	3 192	305	2	—	—	—	3 396	473	13
31	3 739	328	8	—	—	—	3 097	—	1	3 668	374	9
Yht. — *Total* [2]	3 204	488	147	2 702	465	157	2 549	339	293	2 742	493	609

[1]) Mukana myös raakkitukit — *Includes even the unmerchantable logs*
[2]) Mukana myös muut läpimittaluokat — *Includes even other diameter classes*

Taulukko 52. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan, kun u/s-laudan arvo on sahatavaran tilavuusyksikköä kohti 10 000. Laadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla (erikseen soirot ja laudat). Tukin kuorellinen tilavuus on otettu taulukosta.

Table 52. Price of sawn goods per log volume according to the knottiness class and top diameter of log. Price of u/s-board per sawn goods volume is 10 000. Grades I . . . IV of sawn goods are priced using the same value (battens and boards separately). Log volume with bark is from the table.

Latvaläpimitta *Top diameter* cm	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total* [1]		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
13	—	—	—	1 837	301	4	1 981	277	31	1 962	273	37
15	2 210	423	4	2 245	470	17	2 247	334	71	2 253	363	97
17	3 023	422	13	2 497	345	28	2 390	293	79	2 484	373	120
19	2 801	519	18	2 631	363	27	2 408	332	39	2 561	410	87
21	3 245	437	22	2 697	431	33	2 518	302	38	2 751	474	94
23	3 067	425	20	2 644	376	21	2 550	275	24	2 740	418	65
25	3 410	434	24	2 902	352	17	2 431	313	4	3 131	507	45
27	3 412	533	28	2 864	467	8	2 688	688	5	3 217	603	41
29	4 271	1 016	10	3 139	259	2	—	—	—	3 951	1 087	13
31	3 980	468	8	—	—	—	2 316	—	1	3 795	707	9
Yht. — *Total* [2]	3 287	655	145	2 609	443	157	2 353	357	293	2 644	600	609

[1]) Mukana myös raakkitukit — *Includes even the unmerchantable logs*
[2]) Mukana myös muut läpimittaluokat — *Includes even other diameter classes*

Myös tässä tapauksessa raakkitukeista saatavan sahatavaran arvo tukin tilavuutta kohti on korkea kolmannen laatuluokan tukkeihin verrattuna. Ero on ainoastaan 6 %. Tällaista eroa on pidettävä hyvin alhaisena, etenkin kun otetaan huomioon raakkitukkien keskittyminen pienimpiin läpimittaluokkiin.

Edellä tarkastellut tulokset sahatavaran arvosta tukin tilavuusyksikköä kohti perustuvat sahatavaralaatujen I. . .IV erillishinnoitteluun. Mikäli niille kaikille käytetään u/s-tavaran keskihintaa, tulokset muuttuvat vastaavalla tavalla kuin aiemmin on esitetty yksikköhinnoista: parhaiden tukkien arvo alenee ja heikompien ei muutu, jonka lisäksi parhaiden tukkien välinen hajonta alenee. Nämä muutokset ilmenevät vertaamalla taulukkoja 47 ja 51 sekä 48 ja 52 keskenään. — Olennainen muutos on vain oksaisuuslaatuluokan 1 tukeissa, noin 9 %, suurissa tukeissa paljon enemmänkin. Pienissä tukeissa hintasuhde saattaa olla jopa päinvastainen.

Kun eräissä sovellutuksissa tarvitaan tietoa tasoitetuista arvoista, tehtiin regressioyhtälöt eri oksaisuuslaatuluokan tukeille tukin tilavuutta kohti lasketun sahatavaran arvon ennustamiseksi tukin kuorettoman latvaläpimitan avulla. Tällöin käytettiin painotettua regressioanalyysiä K ä r k k ä i s e n (1973) esittämällä tavalla, koska varianssi oli epähomogeeninen latvaläpimitan suhteen. — Kun u/s-laudan arvoa sahatavaran tilavuutta kohti (y) merkittiin luvulla 10 000 ja käytettiin mallia $y = a + b_1 d + b_2 d^2$, saatiin seuraavat yhtälöt (d_t = kuoreton läpimitta cm).

Selitettävä tekijä	Oksaisuuslaatuluokka	Vakio	b_1	b_2	R^2, %
y_8	1	5 107	—227,1	8,517	76,2
	2	—1 360	321,5	—5,532	61,2
	3	385	203,0	—4,457	79,9
	Yhteensä	2 128	— 21,35	2,646	91,3
y_9	1	1 389	41,62	1,999	73,6
	2	16	190,2	—2,968	91,4
	3	— 416	263,8	—5,895	94,9
	Yhteensä	977	71,07	0,7363	92,7
y_{10}	1	3 287	— 69,82	2,776	82,1
	2	1 818	38,65	0,2495	90,7
	3	321	210,7	—4,674	81,4
	Yhteensä	1 693	38,56	0,6900	95,0
y_{11}	1	2 156	16,39	1,292	74,1
	2	36	198,9	—3,419	86,3
	3	— 469	270,3	—6,072	95,5
	Yhteensä	713	111,5	—0,7027	93,8

y_8 = Sahatavaran arvo tukin kuorellista tilavuutta kohti, kun u/s-lauta on sahatavaran tilavuutta kohti 10 000, tukin tilavuus on Newtonin kaavalla ja sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu erikseen

y_9 = Kuten edellä, mutta tukin tilavuus taulukosta

y_{10} = Kuten edellä, mutta tukin tilavuus Newtonin kaavalla ja sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu samalla arvolla

y_{11} = Kuten edellä, mutta tukin tilavuus on taulukosta

46. Rungoittainen tarkastelu

Kun jokaisesta koesahaukseen käytetystä tukista tiedettiin, mistä rungosta se oli peräisin, koesahaustulokset voidaan esittää myös runkokohtaisesti. Runkoja oli kaikkiaan 221. Niiden rinnankorkeusläpimittaluokista 19. . .40 cm saatiin 606 tukkia. Näin ollen mainitun vaihteluvälin ulkopuolelle jäi ainoastaan pari runkoa, joista saatiin kolme tukkia.

Jäljempänä esitettäviä tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että rungot ovat peräisin kolmelta suhteellisen samanlaiselta leimikolta. Näin ollen mm. rungon koolla ja laadulla oli ilmeisesti lievä negatiivinen riippuvuus, kuten yleensä on havaittu olevan, kun tarkastellaan saman metsikön puita. — Tästä on jo aiemmin mainittu. Jos rungot olisivat peräisin selvästi erityyppisiltä leimikoilta, saataisiin ilmeisesti hieman erilaisia tuloksia.

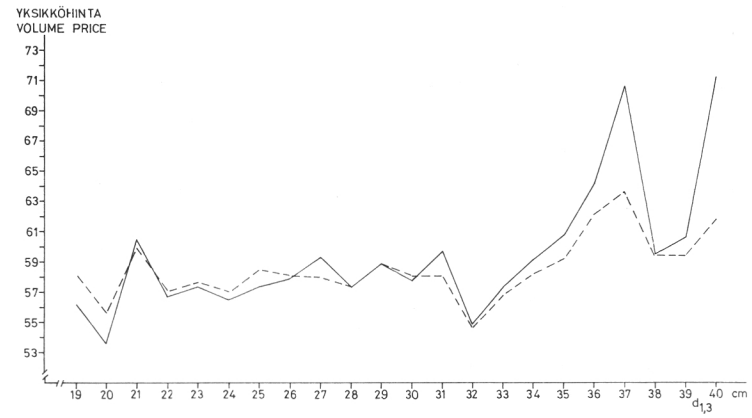
Vaikka runkojen määrä onkin suhteellisen vähäinen, rungoittainen tarkastelu on kiintoisa jo pelkästään siksi, ettei tällaisia rungoittaisia koesahauksia ole Suomessa tiettävästi aiemmin tehty.

Kuvassa 43 on esitetty sahatavarakappaleiden kuivista mitoista laskettu tilavuus prosentteina rungon tukkiosan kuorellisesta tilavuudesta. Näin määritelty saanto kasvaa selvästi läpimitan suuretessa: pienistä rungoista saanto oli n. 45 %, kun taas suurista rungoista sahatavaraa saatiin yli 50 %. — Tässä esimerkkiaineistossa saannon riippuvuus rungon rinnankorkeusläpimitasta oli vain lievästi käyräviivainen.



Kuva 43. Sahatavarasaannon (% tukkiosan tilavuudesta) riippuvuus rungon rinnankorkeusläpimitasta.

Fig. 43. Yield of sawn goods (in per cent of timber volume) according to the breast height diameter of stem.



Kuva 44. Soirojen yksikköhinnan riippuvuus rungon rinnankorkeusläpimitasta. U/s-lauta = 100. Ehyt viiva: sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen. Katkoviiva: sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla.

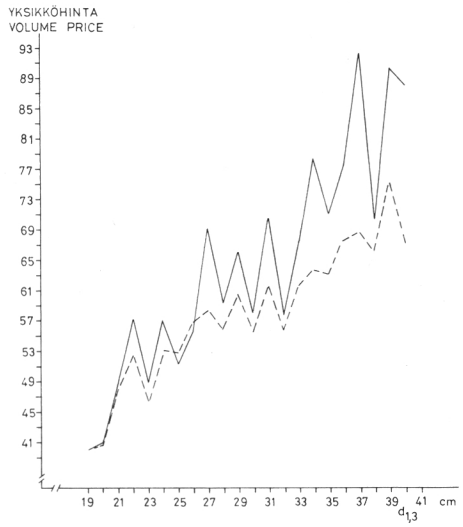
Fig. 44. Volume price of battens according to the breast height diameter of stem. U/s-board = 100. Solid line: Grades I . . . IV of sawn goods are priced separately. Broken line: Grades I . . . IV are priced using the same value.

Kun eri läpimittaluokan tukeista pyrittiin sahaamaan soiroja ja pintalautoja, voidaan tarkastella myös sahatavaran kokonaismäärästä laskettua soirojen tilavuusosuuden riippuvuutta rungon rinnankorkeusläpimitasta. Myös nämä tulokset on esitetty kuvassa 43. Kuvan mukaan soirojen osuus sahatavarasta laskee tasaisesti hidastuvalla nopeudella. Pienimmissä rungoissa soirojen osuus sahatavarasta on 90 %, mutta suurissa rungoissa vain 65 prosentin luokkaa.

Kun soirojen suhteellinen osuus vähenee puun suuretessa, lautojen merkitys vastaavasti kohoaa. Jo tästä voidaan päätellä, että puiden suuretessa rungon ulkoisten ominaisuuksien perusteella tapahtuva laatuluokitus saattaa olla paikallaan, koska on entistä tärkeämpää tietää, millainen on pintaosista saatavien lautojen laatu. Pienten puiden laatuluokitus ei ole niin olennainen kysymys, koska soirojen osuus on ratkaisevan suuri, eikä soirojen laatu ja hinta poikkea niin paljon toisistaan kuin lautojen laatu ja hinta. Tähän on jo aiemmin kiinnitetty huomiota tarkasteltaessa tukkeja.

Sama ilmenee myös kuvasta 44, jossa on esitetty soirojen yksikköhinnan riippuvuus rungon rinnankorkeusläpimitasta. Kuvaan on piirretty kaksi murtoviivaa, joista yhtenäinen on saatu hinnoittelemalla sahatavaralaadut I. . .IV kukin arvonsa mukaisesti. Vastaavasti katkoviiva on saatu käyttämällä samaa hintaa kaikille laatuluokkien I. . .IV sahatavarakappaleille.

Kuvasta havaitaan, että yksikköhinnan kohoaminen läpimitan kasvun myötä on suhteellisen hidasta, joskin selvästi havaittavissa. Laskentatapojen välillä ei ole olennaisia eroja, mutta pienissä rungoissa yhtenäishinnan käyttäminen on antanut suuremman yksikköhinnan kuin erillishintojen käyttäminen. Vastaavasti suurissa rungoissa erillishintojen käyttäminen on johtanut suurempaan yksikköhintaan.



Kuva 45. Lautojen yksikköhinnan riippuvuus rungon rinnankorkeusläpimitasta. U/s-lauta = 100. Ehyt viiva: sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen. Katkoviiva: sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla.

Fig. 45. Volume price of boards according to the breast height diameter of stem. U/s-board = 100. Solid line: Grades I . . . IV of sawn goods are priced separately. Broken line: Grades I . . . IV are priced using the same value.

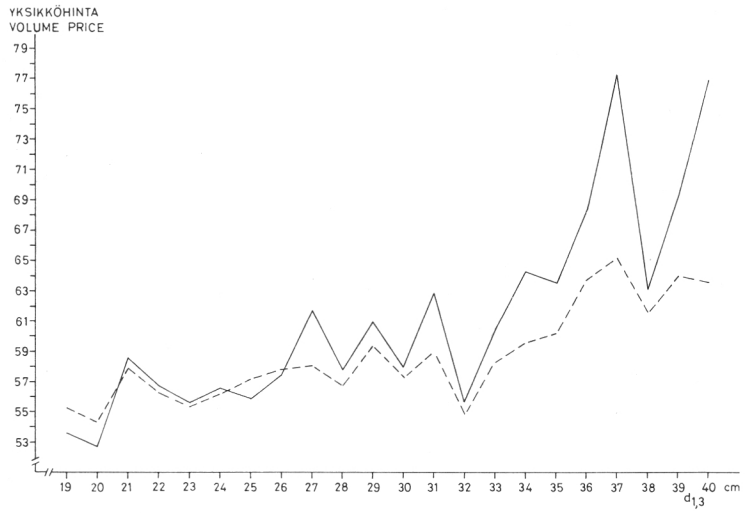
Vastaavat lautojen kuvaajat on esitetty kuvassa 45. Soiroihin verrattuna yksikköhinta on kohonnut voimakkaasti rungon suuretessa. Laskentaperusteesta riippuen suurista rungoista sahattujen lautojen yksikköhinta oli vähintään 50 %, mutta jopa 100 % suurempi kuin pienistä rungoista saatujen lautojen. — Myös tämä osoittaa, että sahatukkien laatuluokitus on erityisen tarpeellinen suurten runkojen ollessa kyseessä.

Kaikkea sahatavaraa koskevat tulokset on esitetty vastaavalla tavalla kuvassa 46. Soirojen hallitsevan merkityksen vuoksi yksikköhinnan nousu puun suuretessa on suhteellisen lievä lautoihin verrattuna. Näin on erityisesti silloin, kun sahatavaran laadut I. . .IV hinnoitellaan yhtenäishintojen mukaan. Kuitenkin myös tällöin sahatavaran yksikköhinta kohoaa tarkasteltavalla vaihteluvälillä parinkymmenen prosentin verran.

Kun samanaikaisesti otetaan huomioon saannon ja yksikköhinnan riippuvuus rungon rinnankorkeusläpimitasta, saadaan kuvassa 47 esitetyt tulokset. Voidaan havaita, että laskentatavasta riippuen sahatavaran arvo tukkiosan tilavuutta kohti on 40. . .50 % suurempi kuin pienissä puissa. Laskentatavoilla on selviä eroja ainoastaan suurissa puissa, jolloin sahatavaralaatujen I. . .IV erillishintojen käyttö antaa suuremman arvon kuin yhtenäishintojen käyttö. — Kummallakin laskentatavalla tulee kuitenkin selvästi osoitetuksi, että rungon koko vaikuttaa todella merkittävästi tukeista saatavan sahatavaran arvoon ilman minkään muun luokitusperusteen käyttämistä.

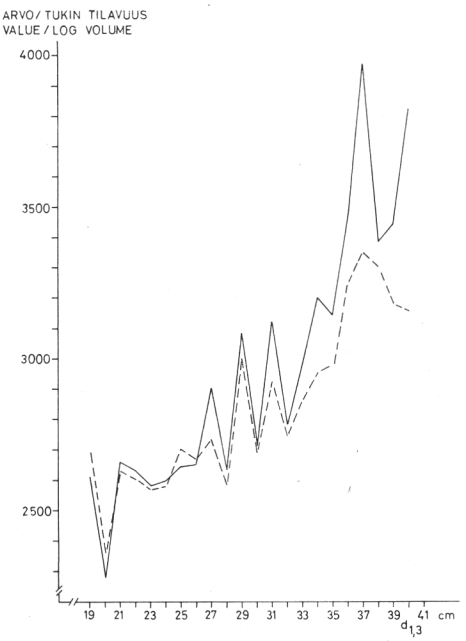
Millainen on sitten sahatavaran jakauma eri laatujen kesken?

Kuvassa 48 on esitetty soirojen laatujakauma rungon rinnankorkeusläpimitan mukaan. — Parhaita sahatavaralaatuja on kaikissa tapauksissa vähän, esim. luokkia



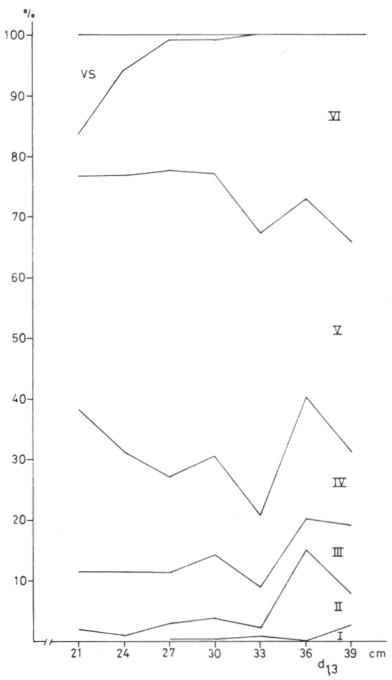
Kuva 46. Sahatavaran yksikköhinnan riippuvuus rungon rinnankorkeusläpimitasta. U/s-lauta = 100. Ehyt viiva: sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen. Katkoviiva: sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla (erikseen soirot ja laudat).

Fig. 46. Volume price of sawn goods according to the breast height diameter of stem. U/s-board = 100. Solid line: Grades I . . . IV of sawn goods are priced separately. Broken line: Grades I . . . IV are priced using the same value (battens and boards separately).



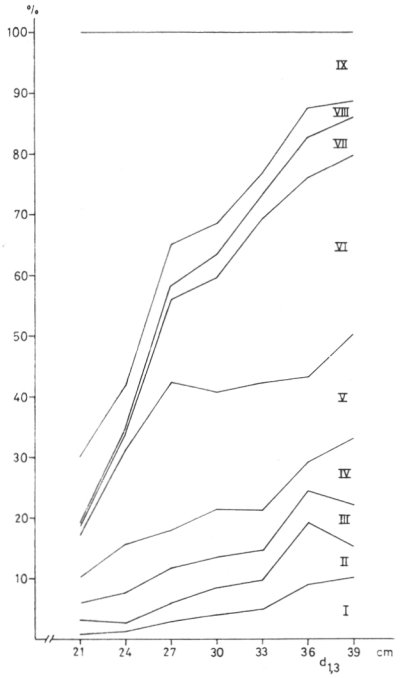
Kuva 47. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti rungon rinnankorkeusläpimitan mukaan. U/s-laudan arvo on sahatavaran tilavuusyksikköä kohti 10 000. Ehyt viiva: sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen. Katkoviiva: sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla (erikseen soirot ja laudat).

Fig. 47. Value of sawn goods per log volume according to the breast height diameter of stem. Price of u/s-board per sawn goods volume is 10 000. Solid line: Grades I . . . IV of sawn goods are priced separately. Broken line: Grades I . . . IV are priced using the same value (battens and boards separately).



Kuva 48. Soirojen laatujakauma I . . . VI sekä vajaasärmä (VS) rungon rinnankorkeusläpimitan mukaan.

Fig. 48. Grades I . . . VI and wane grade (VS) of battens according to the breast height diameter of stem.



Kuva 49. Lautojen laatujakauma I . . . VI sekä laadut oksaton vajaasärmä (VII), höylävajaasärmä (VIII) ja vientivajaasärmä (IX) rungon rinnankorkeusläpimitan mukaan.

Fig. 49. Grades I . . . VI and wane grades VII . . . IX of boards according to the breast height diameter of stem.

I. . .III 10. . .20 % sahatavaran määrästä. Niiden osuus kohoaa lievästi rungon koon suuretessa. Neljän parhaan laatuluokan osuus alenee aluksi rungon suuretessa, mutta alkaa sitten uudelleen kohota. Omalaatuinen ilmiö johtuu mahdollisesti oksien suurenemisesta.

Viiden parhaan sahatavaran laatuluokan osuus on likimain vakio 30 cm:n rinnankorkeusläpimittaan saakka, jonka jälkeen osuus alkaa laskea. Sekstalaatua ja vajaasärmää on vastaavasti likimain vakio-osuus 30 cm:n rinnankorkeusläpimittaluokkaan saakka, jonka jälkeen osuus alkaa suureta.

Kaiken kaikkiaan voidaan kuitenkin sanoa, että kuvassa 48 esitetyt laatujen osuuden muutokset ovat vähäisiä esim. kuvassa 49 esitettyihin lautojen vastaaviin jakaumiin verrattuna.

Kuvan 49 mukaan parhaiden laatujen osuus lisääntyy laudoissa selvästi rungon rinnankorkeusläpimitan kasvaessa. Suhteellisesti voimakkain ilmiö on priima- ja sekundalaaduissa. Tertia- ja kvarttalaatujen osuus pysyy likimain vakiona rinnan-

korkeusläpimitan kasvaessa. Näin ollen havaitaan, että u/s-laadun (laadut I. . .IV) osuus lisääntyy jatkuvasti rinnankorkeusläpimitan suuretessa.

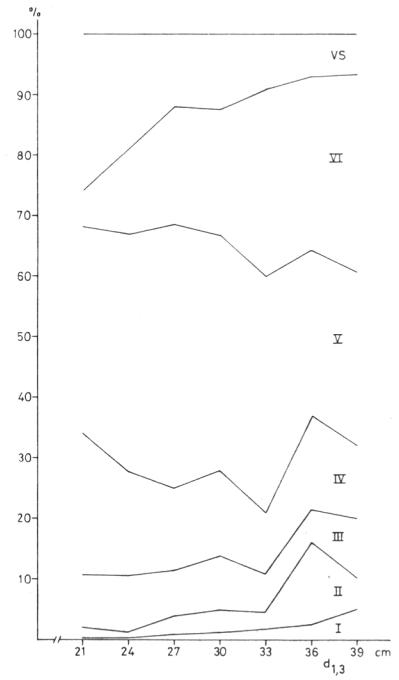
Edelleen voidaan kuvasta 49 havaita, että kvinttalaadun osuus on suurimmillaan 27 cm:n läpimittaisissa rungoissa. Sekstalaadun osuus kasvaa jatkuvasti, mutta vajaasärmälaatujen alenee.

Kuvassa 50 on esitetty vastaavat tulokset kaiken sahatavaran osalta. Soirojen hallitsevan merkityksen vuoksi muutokset läpimitan mukaan ovat suhteellisen pieniä. Voidaan kuitenkin havaita parhaiten laatujen osuuden kohoaminen läpimitan kasvaessa. Sitä vastoin viiden ensimmäisen laatuluokan (ns. sahatuottoinen tavara) osuus laskee hieman läpimitan kasvaessa.

Kiintoisaa myös on, että vajaasärmälaadut ja seksta muodostavat yhdessä ryhmän, jonka osuus kasvaa lievästi läpimitan suuretessa. Sisäinen jakauma on tyypillinen: kun vajaasärmälaatujen osuus vähenee, sekstalaadun osuus kasvaa.

Edellä on tarkasteltu pelkästään rinnankorkeusläpimittaluokkien keskiarvoja. Kannattaa kuitenkin tarkastella, miten sahatavaran saanto ja muut ominaisuudet riippuvat muista rungon ominaisuuksista kuin rinnankorkeusläpimitasta. Näiden riippuvuuksien selvittämiseksi tehtiin joukko regressioanalyyseja.

Aluksi käytettiin valikoivaa regressioanalyysiä mielikuvan saamiseksi parhaista selittäjistä. Tarkastelun kohteeksi otettiin soirojen, lautojen ja sahatavaran yksikköhinnat sekä sahatavaran hinta tukin tilavuutta kohti, kun tukin tilavuus laskettiin joko Newtonin kaavalla tai otettiin yleisesti käytetyistä taulukoista. Kaikki mai-



Kuva 50. Sahatavaran laatujakauma I . . . VI sekä vajaasärmä (VS) rungon rinnankorkeusläpimitan mukaan.

Fig. 50. Grades I . . . VI and wane grade (VS) of sawn goods according to the breast height diameter of stem.

nitut analyysit tehtiin kahdella hinnoittelutavalla: aluksi tulokset laskettiin hinnoittelemalla sahatavaralaadut I. . .IV erikseen, myöhemmin hinnoittelemalla ne yhtenäishinnalla.

Seuraavassa jaotelmassa on esitetty, millaisia tuloksia saatiin käyttämällä erillishinnoittelua sahatavaralaaduille I. . .IV.

Muuttuja	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Selitettävä: Soirojen yksikköhinta, kun u/s-lauta = 100 ja laadut I . . . IV hinnoiteltu erikseen			
Selittäjät			
Vakio	28,9		
Alin kuiva oksa · d, m · cm	0,04169	7,0	11,6
h^2, m^2	0,06137	3,3	2,6
kd^2, cm · cm^2	0,01640	5,2	6,3
kd, cm · cm	—0,8851	3,7	3,3
d^2, cm^2	0,1065	4,6	5,0
d^2h, cm^2 · m	—0,004931	5,3	6,7
Tyvitukin laatuluokka	—2,659	3,3	2,6
Kapeneminen, k, cm	11,37	2,6	1,6
R^2 = 49,7 %			
F = 26 (8,212)			
Selitettävä: lautojen yksikköhinta, kun u/s-lauta = 100 ja laadut I . . . IV hinnoiteltu erikseen.			
Selittäjät			
Vakio	45,9		
Alin kuiva oksa · d, m · cm	0,3173	7,8	17,0
Alin kuiva oksa · h, m · m	—0,3669	5,5	8,6
Kuivan latvuksen alarajan neliö, m^2	0,1716	2,4	1,7
R^2 = 38,6 %			
F = 46 (3,217)			
Selitettävä: Sahatavaran yksikköhinta, kun u/s-lauta = 100 ja laadut I . . . IV hinnoittelu erikseen.			
Selittäjät			
Vakio	9,7		
Alin kuiva oksa, neliö, m^2	0,09613	5,1	5,2
kd^2, cm · cm^2	0,006320	6,2	7,8
h^2, m^2	—0,2013	2,8	1,6
Tyvitukin laatuluokka	—3,454	3,6	2,6
kd, cm · cm	—0,1976	4,6	4,3
Puun pituus h, m	7,056	2,2	0,9
Toisen tukin laatuluokka	—8,391	3,2	2,0
Toisen tukin oksaisuuslaatuluokka	6,481	2,4	1,2
R^2 = 57,4 %			
F = 36 (8,212)			

Muuttuja	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Selitettävä: Sahatavaran hinta tukin tilavuutta kohti, kun u/s-laudan hinta sahatavaran tilavuutta kohti on 10 000 ja laadut I ... IV on hinnoiteltu erikseen. Tukin tilavuus on laskettu Newtonin kaavalla.			
Selittäjät			
Vakio	2 789		
Alin kuiva oksa · d, m · cm	4,843	3,6	3,0
Alin kuiva oksa · h, m · m	— 10,06	4,4	4,4
Tyvitukin laatuluokka	— 269,8	4,3	4,2
Latvussuhde e.l.a., %	9,991	2,4	1,4
Alin kuiva oksa, neliö, m^2	10,41	3,3	2,5
Tukkiosan tilavuuden neliö $(m^3)^2$	362,8	2,7	1,7
$R^2 = 51{,}1$ %			
F = 37 (6,214)			
Selitettävä: Sahatavaran hinta tukin tilavuutta kohti, kun u/s-laudan hinta sahatavaran tilavuutta kohti on 10 000 ja laadut I ... IV on hinnoiteltu erikseen. Tukin tilavuus on taulukosta.			
Selittäjät			
Vakio	—1 008		
d^2, cm^2	5,757	5,6	5,6
dh, cm · m	— 12,81	4,7	4,0
Tyvitukin laatuluokka	— 209,7	3,8	2,6
Alin kuiva oksa · d, m · cm	4,339	5,7	5,8
Puun pituus h, m	260,0	3,3	1,9
Latvussuhde k.l.a., %	13,28	2,6	1,2
$R^2 = 61{,}7$ %			
F = 57 (6,214)			

Jaotelmasta havaitaan, että selitettäessä rungosta saatavien soirojen yksikköhinnan vaihtelua merkittävin tekijä on etäisyys alimpaan kuivaan oksaan. Tämän lisäksi huomattava vaikutus on erilaisilla puun koon tunnuksilla, jotka korreloivat voimakkaasti keskenään. Niitä ei voida tarkastella erikseen multikollineaarisuuden vuoksi. Myös kapeneminen on tulkittava osittain puun koon tunnukseksi. Kapeneminen nimittäin lisääntyy selvästi rinnankorkeusläpimitan kasvaessa. — Vaikuttavaksi tekijäksi saatiin myös tyvitukin laatuluokka. Tämä osoittaa, ettei kaikkea laatuun vaikuttavaa vaihtelua ole saatu kuvatuksi objektiivisesti mitattavien teki-

jöiden avulla, jolloin laatuluokituksen sisältämä informaatio mm. lenkoudesta, koroista jne. voi olla runkojen vaihtelua selitettäessä tilastollisesti merkitsevä tekijä.

Lautojen yksikköhintaa selitettäessä vaikuttaviksi tekijöiksi saatiin etäisyys alimpaan kuivaan oksaan sekä puun koko. Samoin kuin soirojen yksikköhinnan vaihtelua selitettäessä, myös lautoja tarkasteltaessa monet selittävät tekijät olivat tulomuotoisia muunnoksia, jotka kuvaavat alkuperäisten tekijöiden yhdysvaikutusta.

Myös sahatavaran keskimääräistä yksikköhintaa selitettäessä vaikuttavimmat tekijät olivat samat, etäisyys alimpaan kuivaan oksaan sekä puun koko. Kiintoisaa on, että tässä tapauksessa tilastollisesti merkitseviksi tekijöiksi saatiin tyvitukin laatuluokan lisäksi myös toisen tukin laatuluokka ja oksaisuuslaatuluokka. Jaotelman mukaan näiden merkitys on kuitenkin vähäinen objektiivisesti mitattaviin tekijöihin verrattuna.

Kun tarkasteltiin sahatavaran arvoa Newtonin kaavalla laskettua tukin tilavuutta kohti, jolloin sahatavaran laadun lisäksi tulokseen vaikuttaa myös saanto, tilastollisesti merkitseviksi tekijöiksi saatiin etäisyys alimpaan kuivaan oksaan, tyvitukin laatuluokka sekä puun koko. Olennaisesti samat tekijät saatiin myös silloin, kun tukin tilavuus otettiin yleisesti käytetystä taulukosta. — Valikoivalle regressioanalyysille voidaan pitää tyypillisenä, ettei edes jaotelman kahdessa viimeisessä tapauksessa, jolloin ainoana erona oli tukin tilavuuden määritystapa, saatu läheskään samanlaista mallia muuttujien sisällön osalta. Tulkinnallisesti erot olivat kuitenkin vähäisiä.

Edellä tarkastelluissa regressioyhtälöissä selitysasteet olivat yleensä tyydyttäviä tulkittavan ilmiön luonteen huomioon ottaen. Erityisen tärkeä havainto oli, että valtaosa runkojen välisestä vaihtelusta selittyi objektiivisesti mitattavien tekijöiden avulla. Tyvitukin laatuluokka saatiin tosin useimmissa tapauksissa tilastollisesti merkitseväksi selittäjäksi, mutta sen poistaminen alensi selitysastetta vain kohtuullisesti. Johtopäätöksenä on, että rungosta saatavan sahatavaran arvoa sekä sahatavaran tilavuutta että tukin tilavuutta kohti pystytään ennustamaan kohtalaisen hyvin objektiivisesti mitattavien tekijöiden avulla, joista tärkein on ilmeisesti etäisyys alimpaan kuivaan oksaan.

Väärinkäsityksien välttämiseksi mainittakoon, että valikoivaa regressioanalyysiä käytettäessä potentiaalisina selittäjinä olivat myöskin muut oksaisuustunnukset, kuten työehtosopimuksen mukainen oksaisuusluokka, elävän latvuksen pituuden perusteella määritelty latvussuhde jne. Näin ollen saadut tulokset tukevat vahvasti käsitystä siitä, että etäisyys alimpaan kuivaan oksaan tai kuivan latvuksen alarajaan on tunnus, joka kuvaa rungon laatua hyvin.

Edellä tarkastellut tulokset koskevat tapausta, jolloin sahatavaralaadut I. . .IV hinnoiteltiin kukin erikseen. Seuraavassa jaotelmassa on esitetty vastaavat tulokset silloin, kun u/s-sahatavaralle käytettiin yhtenäishintaa. — Luonnollisesti tällöinkin soirot ja laudat hinnoiteltiin erikseen.

Muuttuja	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Selitettävä: soirojen yksikköhinta, kun u/s-lauta = 100 ja laadut I ... IV on hinnoiteltu yhdessä.			
Selittäjät			
Vakio	76,9		
Latvussuhde a.k.o., %	— 0,1983	6,7	14,1
Elävän latvuksen alaraja, neliö, m^2	— 0,02052	4,2	5,4
Tyvitukin laatuluokka	— 1,586	2,8	2,5
kd^2, cm · cm^2	0,000214	2,3	1,7
R^2 = 32,7 %			
F = 26 (4,216)			
Selitettävä: lautojen yksikköhinta, kun u/s-lauta = 100 ja laadut I ... IV on hinnoiteltu yhdessä.			
Selittäjät			
Vakio	— 27,5		
Alin kuiva oksa, neliö, m^2	0,1154	4,7	6,5
Rinnankorkeusläpimitta d, cm	3,655	4,5	6,1
d^2h, cm^2 · m	— 0,001734	3,3	3,2
Latvussuhde a.e.o., %	0,3001	2,5	1,9
Tyvitukin laatuluokka	— 3,639	2,0	1,2
R^2 = 36,2 %			
F = 24 (5,215)			
Selitettävä: sahatavaran yksikköhinta, kun u/s-lauta = 100 ja laadut I ... IV on hinnoiteltu yhdessä.			
Selittäjät			
Vakio	69,4		
Alin kuiva oksa, neliö, m^2	0,06551	8,1	15,9
Elävän latvuksen alaraja, neliö, m^2	— 0,05242	5,5	7,4
Tyvitukin laatuluokka	— 2,615	4,7	5,4
Latvussuhde e.l.a., neliö, $\%^2$	— 0,002552	3,1	2,3
kd^2, cm · cm^2	0,000609	5,7	7,9
R^2 = 47,9 %			
F = 39 (5,215)			
Selitettävä: sahatavaran hinta tukin tilavuutta kohti, kun u/s-laudan hinta sahatavaran tilavuutta kohti on 10 000 ja laadut I ... IV on hinnoiteltu yhdessä. Tukin tilavuus on laskettu Newtonin kaavalla.			
Selittäjät			
Vakio	2 249		
Alin kuiva oksa · d, m · cm	1,389	4,4	5,3
Latvussuhde e.l.a., %	10,16	3,5	3,3
Tyvitukin laatuluokka	—155,4	3,6	3,5
Tukkiosan tilavuuden neliö, $(m^3)^2$	203,5	2,9	2,2
R^2 = 41,8 %			
F = 39 (4,216)			

(jatkuu)

Muuttuja	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Selitettävä: sahatavaran hinta tukin tilavuutta kohti, kun u/s-laudan hinta sahatavaran tilavuutta kohti on 10 000 ja laadut I . . . IV on hinnoiteltu yhdessä. Tukin tilavuus on taulukosta.			
Selittäjät			
Vakio	3 573		
d^2, cm^2	0,7492	12,4	30,9
Latvussuhde a.k.o., %	— 19,13	5,0	5,0
Elävän latvuksen alaraja, neliö, m^2	— 1,249	4,0	3,2
Tyvitukin laatuluokka	—123,6	3,1	2,0
Latvussuhde k.l.a., neliö, $\%^2$	0,07506	2,6	1,3
Rungon lenkous, cm	— 43,08	2,1	0,9
$R^2 = 56{,}9\ \%$			
$F = 47\ (6{,}214)$			

Jaotelmasta havaitaan, että aiemmin tarkasteltuihin tuloksiin verrattuna selitysasteet ovat heikentyneet kunkin tarkastellun tunnuksen osalta. Tämä on ymmärrettävää sikäli, että yhtenäishinnan käyttö merkitsee siirtymistä kvantitatiivisesta muuttujasta enemmän kvalitatiiviseen muuttujaan päin. Toisin sanoen arvotunnuksen jatkuvuus on heikentynyt.

Tulkinnallisesti tulokset ovat kuitenkin yhtäpitäviä aiemmin esitettyjen kanssa. Kaikissa regressioyhtälöissä saatiin tilastollisesti merkitseväksi tekijäksi etäisyys alimpaan kuivaan oksaan, joko sellaisenaan tai jonakin järkevänä muunnoksena. Samoin saatiin kaikissa tapauksissa tilastollisesti merkitseviksi tekijöiksi tyvitukin laatuluokka sekä jokin puun koon tunnus.

Edellä tarkasteltujen valikoivan regressioanalyysin tulosten perusteella voidaan päätellä, että objektiivisiin tekijöihin pitäydyttäessä huomiota kannattaa kiinnittää erityisesti oksaisuuteen ja rungon kokoon. Jos oksaisuutta kuvataan etäisyydellä alimpaan kuivaan oksaan ja rungon kokoa rinnankorkeusläpimitalla, tekijöitä voi pitää helposti mitattavina ja siten soveliaina käytännön arviointityön pohjaksi. Mikäli selittäväksi tekijäksi voidaan hyväksyä myös luokitustekijä, tällaiseksi kannattaa valita ilman muuta tyvitukin laatuluokka. Tämän pois jättäminen ei näytä kuitenkaan merkitsevän olennaisen paljoa selitysasteen perusteella arvostellen.

Edellä olevan perusteella päätettiin laskea regressioyhtälöt käyttäen samaa mallia kuin ennustettaessa eri oksaisuuslaatuluokkien osuutta rungon tukkiosan tilavuutta. Kiinteitä malleja käytettäessä saatiin taulukoissa 53 ja 54 esitetyt tulokset. Edellisen tulokset perustuvat sahatavaralaatujen I. . .IV erillishinnoitteluun ja jälkimmäisen yhtenäishinnoitteluun, luonnollisesti soirot ja laudat erikseen.

Taulukko 53. Regressioyhtälöt runkoja varten hinnoiteltaessa sahatavaralaadut I . . . IV erikseen (N = 221)

Table 53. Regression equations for stems as grades I . . . IV of sawn goods were priced separately (N = 221).

Selittäjä *Independent variable*	Selitettävä tekijä — *Dependent variable*				
	y_{12}	y_{13}	y_{14}	y_8	y_9
Vakio — *Constant*	93,2	42,4	101,6	4 961	3 945
x_1	0,4045	—5,123	—1,049	—33,90	—71,71
t	0,3	1,3	0,7	0,4	0,9
x^2_1	—0,005307	0,2775	0,03066	0,6738	2,042
t	0,1	1,7	0,5	0,2	0,6
$x_1 d$	0,03000	0,1254	0,07575	3,637	3,916
t	0,9	1,3	1,9	1,7	1,9
d	—3,136	0,006655	—3,773	—210,1	—141,7
t	3,7	0,0	3,7	3,7	2,6
d^2	0,05535	0,01824	0,06735	4,028	2,986
t	3,8	0,4	3,9	4,2	3,2
R^2, % ...	29,9	36,1	41,5	46,3	50,9
F	18	24	31	37	45
$s_{y.x}$	6,6	19,8	8,1	444	425

Pohja-Basis: y_{12} . . . y_{14}: u/s-lauta = 100 — *u/s-board = 100*
y_8, y_9: u/s-lauta sahatavaran tilavuutta kohti = 100 000 — *u/s-board per volume of sawn goods = 10 000*

Selitys — *Explanation*

y_{12} = Soirojen yksikköhinta rungossa — *Volume price of battens in the stem*
y_{13} = Lautojen yksikköhinta rungossa — *Volume price of boards in the stem*
y_{14} = Sahatavaran yksikköhinta rungossa — *Volume price of sawn goods in the stem*
y_8 = Sahatavaran hinta tukkiosan tilavuutta kohti, kun tukin tilavuus laskettu Newtonin kaavalla — *Price of sawn goods per volume of timber part of the stem as the volume of logs were calculated by Newtons formula*
y_9 = Kuten edellä, mutta tukin tilavuus taulukosta — *As above, but log volume from table*
x_1 = Etäisyys alimpaan kuivaan oksaan, m — *Distance to the lowest dead branch, m*
d = Rinnankorkeusläpimitta, cm — *Breast height diameter, cm*
R^2 = Selitysaste, % — *Coefficient of determination*, %
F = F-arvo — *F-value* (5,215)
$s_{y.x}$ = Jäännöshajonta — *Standard error of estimate*, %

Taulukoista 53 ja 54 voidaan havaita ehkä yllättävä tulos, ettei ainoassakaan tapauksessa etäisyys alimpaan kuivaan oksaan ole muodollisesti merkitsevä tekijä. Myöskään sen yhdysvaikutus rinnankorkeusläpimitan kanssa ei yllä merkitsevyysrajalle. Tämä oli kuitenkin tekijä, joka korreloi parhaiten sahatavaran yksikköhinnan ja myös tukin tilavuutta kohti lasketun sahatavaran arvon kanssa. — Kiinteitä malleja käytettäessä valtaosa vaihteluista tulee selitetyksi rinnankorkeusläpimitan ja sen neliön avulla. Eräissä tapauksissa nämäkään eivät olleet muodollisesti merkitseviä selittäjiä.

Kun kysessä ovat kiinteät mallit, selittävien tekijöiden muodolliseen tilastolliseen merkitsevyyteen ei tarvitse kiinnittää liiallista huomiota. Olennaista on, antaako malli hyviä ennustearvoja. Tältä kannalta mielenkiintoisimmat tulokset koskevat

Taulukko 54. Regressioyhtälöt runkoja varten hinnoiteltaessa sahatavaran laadut I . . . IV yhdessä (Laudat ja soirot erikseen) N = 221. Selitykset, ks. taulukko 53 ja symboliluettelo.[1])

Table 54. Regression equations for stems as grades I . . . IV of sawn goods were priced by the same value (boards and battens separately) N = 221. For explanations, see Table 53 and Symbols.[1])

Selittäjä *Independent variable*	Selitettävä tekijä — *Dependent variable*				
	y_{15}	y_{16}	y_{17}	y_{10}	y_{11}
Vakio — *Constant*	70,2	—9,8	69,5	3 279	2 205
x_1	1,260	—1,945	0,3465	39,78	0,07522
t	1,5	1,1	0,4	0,6	0,0
x^2_1	—0,03341	0,1822	—0,008684	—1,251	0,3424
t	1,0	1,7	0,2	0,5	0,2
x_1d	0,002308	0,05730	0,02786	1,111	1,354
t	0,1	0,8	1,2	0,7	1,0
d	—1,396	3,807	—1,392	—87,12	—14,26
t	2,5	2,2	2,4	2,1	0,4
d^2	0,02428	—0,05122	0,02485	1,860	0,7418
t	2,6	1,7	2,5	2,7	1,2
R^2, % ...	24,0	31,5	36,3	36,7	48,9
F	14	20	25	25	41
$s_{y.x}$	4,3	13,7	4,6	322	276

[1]) Selitettävät tekijät vastaavat taulukossa 53 esitettyjä muuten paitsi hinnoituksen osalta — *Dependent variables are the same as in Table 53 except for pricing of grades I . . . IV*

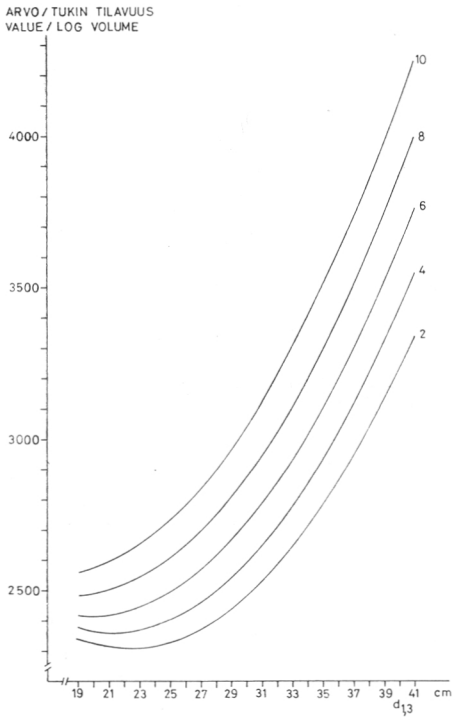
tukin tilavuutta kohti laskettua sahatavaran arvoa. — Seuraavassa tarkastellaan tuloksia, jolloin tukin tilavuus otettiin yleisesti käytetystä taulukosta.

Kuvassa 51 on esitetty sahatavaralaatujen I. . .IV erillishinnoittelun mukaiset tulokset. Vastaavasti kuvassa 52 on esitetty yhtenäishinnoittelulla saadut tulokset. Jälkimmäisellä tavalla laskien läpimitan vaikutus on luonnollisesti vähäisempi, mutta muuten tulokset vastaavat hyvin toisiaan. Rungon koon ja oksaisuuden vaikutus vaikuttaa uskottavalta kummassakin tapauksessa.

Edellä on tarkasteltu rungosta saatavan sahatavaran arvoa erilaisilla hintasuhteilla ja erilaisia laskentatapoja käyttäen. Tällaisia tunnuksia onkin pidettävä hyvinä siinä mielessä, että ne heijastavat samanaikaisesti eri sahatavaralaatujen hintasuhteita ja erilaatuisten sahatavaroiden osuutta kokonaismäärästä. Esim. u/s-prosentti ei ole yhtä hyvä tunnus, koska se jättää kertomatta, missä keskinäisessä suhteessa saadaan kvinttaa ja sekstaa sekä mikä on u/s-tavaran ja muiden laatujen hintasuhde.

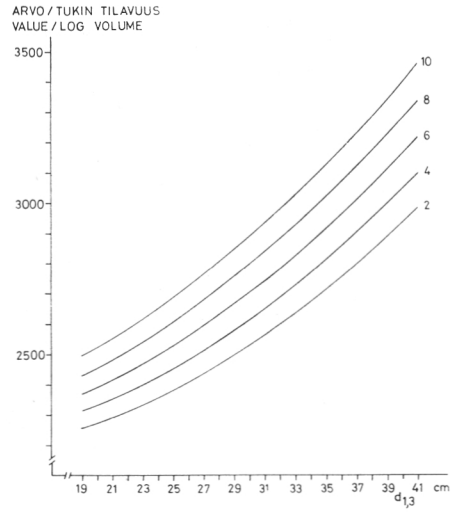
Kun kuitenkin saha-alalla u/s-prosentin käyttö on vakiintunutta, laskettiin joukko regressioanalyyseja myös tälle ja siihen verrattaville tunnuksille.

Valikoivaa regressioanalyysiä käytettäessä saatiin seuraavat rungoittaiset tulokset.



Kuva 51. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti rinnankorkeusläpimitan mukaan, kun etäisyys alimpaan kuivaan oksaan on 2 . . . 10 m. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu kukin erikseen. U/s-laudan arvo on sahatavaran tilavuusyksikköä kohti 10 000. Tukin tilavuus on taulukosta.

Fig. 51. Value of sawn goods per log volume according to the breast height diameter of stem as the distance to the lowest dead branch varies between 2 . . . 10 m. Price of u/s-board per volume of sawn goods is 10 000. Grades I . . . IV of sawn goods are priced separately. Log volume from table.



Kuva 52. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti rinnankorkeusläpimitan mukaan, kun etäisyys alimpaan kuivaan oksaan on 2 . . . 10 m. Sahatavaralaadut I . . . IV on hinnoiteltu yhdessä (erikseen soirot ja laudat). U/s-laudan arvo on sahatavaran tilavuusyksikköä kohti 10 000. Tukin tilavuus on taulukosta.

Fig. 52. Value of sawn goods per log volume according to the breast height diameter of stem as the distance to the lowest dead branch varies between 2 . . . 10 m. Price of u/s-board per volume of sawn goods is 10 000. Grades I . . . IV of sawn goods are priced using the same value (boards and battens separately). Log volume from table.

Selitettävä: lautojen u/s-prosentti

Selittäjät	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Vakio	33,5		
Alin kuiva oksa · d, m · cm	0,1546	3,9	5,7
Alin kuiva oksa · h, m · m	—0,2928	3,0	3,4
Tyvitukin laatuluokka	—7,380	2,7	2,8
Alin kuiva oksa, neliö, m²	0,2499	2,1	1,6

$R^2 = 20{,}1\ \%$

$F = 14\ (4{,}216)$

(jatkuu)

Selitettävä: soirojen u/s-prosentti

Selittäjät	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Vakio	116,5		
Latvussuhteen a.k.o. neliö, $\%^2$	—0,009592	4,5	6,5
Alin kuiva oksa · h, m · m	—0,3141	3,9	5,0
Tyvitukin laatuluokka	—8,955	3,0	3,0
Rungon lenkous, cm	3,251	2,2	1,6
Alin kuiva oksa, neliö, m^2	0,3182	2,2	1,6

$R^2 = 29{,}4$
$F = 18\ (5{,}215)$

Selitettävä: sahatavaran u/s-prosentti

Selittäjät			
Vakio	104,9		
Latvussuhteen a.k.o. neliö, $\%^2$	—0,005511	6,7	14,2
Alin elävä oksa, neliö, m^2	—0,1177	3,8	4,6
Tyvitukin laatuluokka	—5,713	2,7	2,3
Latvussuhde a.e.o.	—0,4715	2,1	1,4

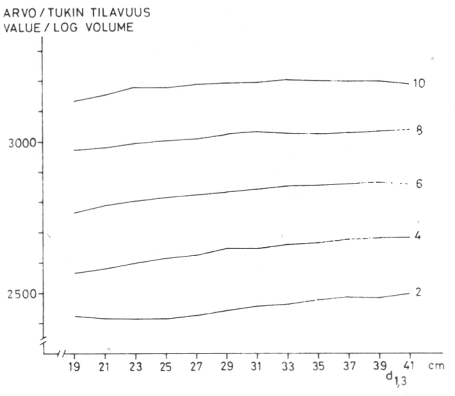
$R^2 = 31{,}8\ \%$
$F = 25\ (4{,}216)$

Kaikissa tapauksissa selitysasteet olivat varsin alhaisia, mikä johtunee osittain juuri selitettävän tekijän aiemmin mainituista puutteista. Huomiota kiinnittää kuitenkin se merkitys, joka on etäisyydellä alimpaan kuivaan oksaan. Tämän lisäksi olennainen on myös tyvitukin laatuluokka. Muilla muodollisesti merkitsevillä tekijöillä on vähäisempi merkitys, ja ne on useissa tapauksissa nähtävä vaikutukseltaan ennustetta oikaiseviksi. Niitä ei voida tulkita kokonaisuudesta erillään. Tällainen on mm. soirojen u/s-prosenttia selitettäessä rungon lenkous, jonka kertoimen etumerkki on epälooginen.

Valikoivan regressioanalyysin yhtälöillä ei ole ilmeisesti käytännöllistä merkitystä.

Koesahauksen tuloksia on kiintoisa verrata tuloksiin, jotka saadaan hinnoittelemalla tietyn läpimitan ja oksaisuuden omaavat rungot niiden sisältämien ensimmäisen, toisen ja kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukkien osuuden mukaisesti. Aiemmin on jo esitetty taulukot, joista ilmenee ensimmäisen ja kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukkien osuus tukkiosan tilavuudesta rinnankorkeusläpimitan ja alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden perusteella.

Kun sahatavaran arvoa tukin tilavuutta kohti merkittiin ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa luvulla 3650, toisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa luvulla 2600 ja kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa 2350, saatiin kuvassa 53 esitetyt tulokset. — Tällöin järeyden vaikutusta arvoon ei siis otettu huomioon.



Kuva 53. Taulukkojen 27 ja 28 perusteella laskettu sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti rinnankorkeusläpimitan ja alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden (2 . . . 10 m) mukaan, kun ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukin arvo oli 3650, toisen 2600 ja kolmannen 2350.

Fig. 53. Value of sawn goods per log volume according to the breast height diameter and the distance to the lowest dead branch (between 2 . . . 10 m), when the value of the logs in the first knottiness class was 3650, second 2600, and third 2350. Calculated from Tables 27 and 28.

Kuvasta 53 havaitaan, että läpimitan vaikutus on hyvin pieni oksaisuustunnuksen vaikutukseen verrattuna. Kun etäisyys alimpaan kuivaan oksaan kasvaa, arvo kohoaa likimain samalla tavalla kuin koesahausten mukaan. Tämä havainto on tärkeä sikäli, että se viittaa hyvin erilaisista aineistoista saatavien tulosten yhdenmukaisuuteen ainakin alimman kuivan oksan vaikutuksen osalta.

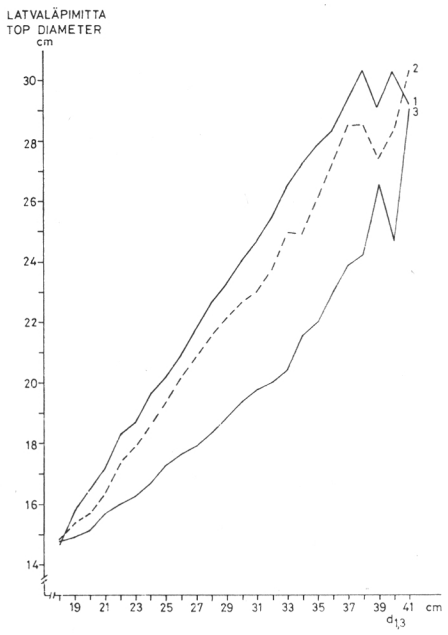
Toisaalta on kuvan 53 perusteella ilmeistä, ettei eri oksaisuuslaatuluokkien tukkeja voida hinnoitella niiden järeydestä riippumatta. Aiemmin tarkasteltujen koesahaustulosten mukaan erityisesti parhaiden tukkien järeytyminen lisää huomattavasti niiden yksikköhintaa.

Järeyden vaikutusta huomioon otettaessa lähtökohtana voidaan pitää aiemmin esitettyjä yhtälöitä, jotka kuvaavat eri oksaisuuslaatuluokkien tukeista saatavan sahatavaran arvoa tukin tilavuutta kohti sen kuorettoman latvaläpimitan mukaan. Tämän lisäksi täytyy tietää, miten eri oksaisuuslaatuluokkien tukkien latvaläpimitta riippuu leimikon keskimääräisestä rinnankorkeusläpimitasta.

Jo etukäteen on selvää, että määräkokoisista rungoista saatavien tukkien latvaläpimitta riippuu oksaisuuslaatuluokasta siten, että tukit pienenevät oksaisuuslaadun heikentyessä. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että parhaat tukit saadaan rungon tyviosasta ja heikkolaatuisimmat latvaosasta. Eri oksaisuuslaatuluokkien erot ovat ilmeisesti kuitenkin pienet pienten runkojen ollessa kyseessä, koska niistä saadaan ainoastaan tyvitukki.

Kysymyksen tarkemmaksi selvittämiseksi laskettiin, millaiset olivat eri oksaisuuslaatuluokkien tukkien kuorettomat latvaläpimitat rungon rinnankorkeusläpimitan funktiona. Tulokset on esitetty kuvassa 54. Sen mukaan oksaisuuslaatuluokkien 1 ja 2 ero on vähäinen, mutta kolmas oksaisuuslaatuluokka poikkeaa muista erityisesti keskikokoisissa rungoissa.

Kuvan 54 mukaisista keskiarvotiedoista laskettiin toisen asteen regressioyhtälöt, joita voidaan käyttää ennustettaessa erilaatuisten tukkien latvaläpimittaa rungon rinnankorkeusläpimitan avulla. Tulokset olivat seuraavat.



Kuva 54. Ensimmäiseen, toiseen ja kolmanteen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvien tukkien keskimääräinen kuoreton latvaläpimitta rungon rinnankorkeusläpimitan mukaan.

Fig. 54. Top diameter under bark of the logs of the first, second, and third knottiness class according to the breast height diameter of the stem.

Oksaisuuslaatuluokka	Yhtälö	Selitysaste, %
1	$d_t = -3{,}66+1{,}172\ d\ -0{,}008144\ d^2$	99,0
2	$d_t = 2{,}31+0{,}6988\ d-0{,}0006265\ d^2$	99,1
3	$d_t = 16{,}98-0{,}4077\ d+0{,}01610\ d^2$	97,5

joissa d_t on tukin kuoreton latvaläpimitta cm ja
d on rungon rinnankorkeusläpimitta cm.

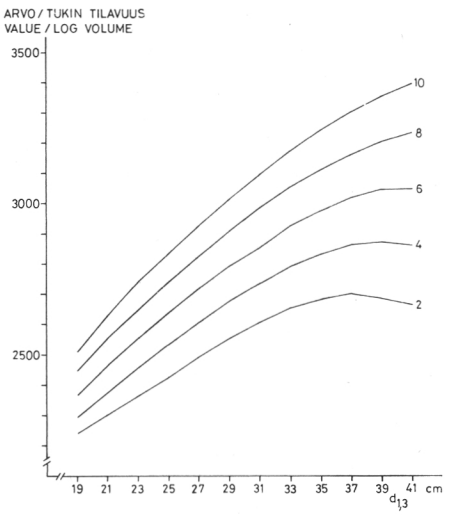
Tarkkoihin tuloksiin pyrittäessä yhtälöt pitäisi itse asiassa laskea erikseen eri oksaisuuden omaaville rungoille, koska on selvää, että oksikkaista rungoista saatavien kolmanteen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvien tukkien keskimääräinen latvaläpimitta on suurempi kuin vähäoksaisista rungoista saatavien. Tämä johtuu luonnollisesti siitä, että oksikkaista rungoista tukkeja tehtäessä jo tyvitukit saattavat kuulua kolmanteen oksaisuuslaatuluokkaan näin kohottaen keskimääräistä latvaläpimittaa. — Näin tarkka menettely katsottiin kuitenkin tarpeettomaksi sen vuoksi, että nimenomaan kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa läpimitan vaikutus sahatavaran yksikköhintaan oli lievä parhaimpiin tukkeihin verrattuna.

Edellä esitettyjä yhtälöitä käyttäen laskettiin, millainen oli keskimääräinen latvaläpimitta eri oksaisuuslaatuluokkien tukeilla rinnankorkeusläpimitan vaihdellessa välillä 19. . .41 cm. Edelleen laskettiin aiemmin esitettyjä yhtälöitä käyttäen, mikä oli sahatavaran arvo tukin taulukosta saatua kuorellista tilavuutta kohti, kun u/s-laudan hintaa sahatavaran tilavuutta kohti merkittiin luvulla 10 000. Näin saatiin seuraavat arvoluvut eri oksaisuuslaatuluokan tukeille.

Rungon rinnankorkeus-läpimitta cm	Sahatavaran arvo tukin tilavuutta kohti Oksaisuuslaatuluokka 1	2	3
19	2 729	2 285	2 223
21	2 830	2 405	2 262
23	2 932	2 513	2 309
25	3 037	2 608	2 360
27	3 144	2 690	2 412
29	3 252	2 760	2 461
31	3 360	2 817	2 501
33	3 467	2 863	2 529
35	3 572	2 897	2 537
37	3 676	2 918	2 520
39	3 777	2 928	2 471
41	3 875	2 927	2 381

Kun jaotelman mukaiset arvoluvut sijoitettiin taulukkoihin 27 ja 28 sekä niiden perusteella saatavaan nyt esittämättömään taulukkoon, joka kuvaa toisen oksaisuuslaatuluokan tukkien osuutta tukkien yhteisestä tilavuudesta, saatiin kuvassa 55 esitetyt tulokset sahatavaran arvosta tukin tilavuutta kohti, kun tunnetaan rungon rinnankorkeusläpimitta ja etäisyys alimpaan kuivaan oksaan.

Kun näin saatuja tuloksia verrataan kuvassa 52 esitettyihin koesahauksen perusteella saatuihin tuloksiin, erilaisuutena ovat kuvaajien erilaiset muodot. Koesahausaineistossa sahatavaran arvo tukin tilavuutta kohti kasvaa kiihtyvästi rinnankorkeusläpimitan kasvaessa, mutta tukkien jakaumaa koskevassa paljon laajemmassa aineistossa riippuvuus läpimitasta on hidastuva. Kun etäisyys alimpaan kuivaan oksaan on pieni, erot ovat suurimmillaan. — Syynä eroon ovat aineistojen erilaisuuden lisäksi myös varovaisuusperiaatteen noudattaminen taulukkoja 27 ja 28 laskettaessa.



Kuva 55. Taulukkojen 27 ja 28 perusteella laskettu sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti rinnankorkeusläpimitan ja alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden (2 . . . 10 m) mukaan, kun ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukin arvo on koosta riippuen 2729 . . . 3875, toisen 2285 . . . 2928 ja kolmannen 2223 . . . 2537.

Fig. 55. Value of sawn goods per log volume according to the breast height diameter and the distance to the lowest dead branch (between 2 . . . 10 m), when the value of the logs in the first knottiness class varied between 2729 . . . 3875 depending on the log size, second 2285 . . . 2928, and third 2223 . . . 2537.

Kaiken kaikkiaan erot ovat kuitenkin vähäisiä tulkinnallisessa mielessä, kun otetaan huomioon, kuinka karkeista menettelytavoista nyt on kyse. Jos on valittava, kumpi kuvaajan muoto on lähempänä oikeaa, on ilman muuta otettava taulukkoihin perustuva tulos, joka on esitetty kuvassa 55. Koesahausaineisto on liian pieni (221 runkoa) ja yksipuolinen, jotta siihen voitaisiin kiinnittää liiallista huomiota.

5. KÄYTÄNNÖN SOVELLUS

Edellä on luvuissa 3 ja 4 tarkasteltu tuloksia, jotka on saatu leimikkoaineistosta ja koesahauksesta. Niiden perusteella voidaan hahmotella erilaisia käytännön sovellutuksia. Tulokset on esitetty niin yksityiskohtaisesti, että mahdollisuudet eri premisseillä tapahtuvaan soveltamiseen ovat ilmeisesti olemassa.

Seuraavassa esitetään yksi mahdollisuus soveltaa aiemmin tarkasteltuja tuloksia. Tavoitteena on laatia rungon rinnankorkeusläpimitan ja alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden perusteella taulukko, josta ilmenee rungosta saatavien sahatukkien suhteellinen arvo tilavuusyksikköä kohti.

Lähtökohtana ovat taulukoissa 11 ja 13 esitetyt koko aineistoa koskevat yhtälöt, joiden perusteella voidaan laskea mainittujen kahden tekijän funktiona ensimmäiseen, toiseen ja kolmanteen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvien tukkien tilavuusosuus. — Kuten aiemmin on jo mainittu, yhtälöt ovat vain ensimmäistä ja kolmatta oksaisuuslaatuluokkaa varten, joten loput tukeista kuuluvat toiseen oksaisuuslaatuluokkaan.

Sivulla 138 on esitetty yhtälöt, joiden perusteella voidaan laskea ensimmäiseen, toiseen ja kolmanteen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvien tukkien keskimääräinen kuoreton latvaläpimitta, kun tunnetaan rinnankorkeusläpimitta. — Tarkkuutta koskevat huomautukset on jo esitetty asianomaisella kohdalla tulosten analysoinnin yhteydessä.

Kuoren osuus eri laatuluokan tukeissa voidaan laskea ottamalla huomioon aiemmin mainittu tulos, että lähes kaikki ensimmäiseen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvat tukit ovat tyvitukkeja ja toisen oksaisuuslaatuluokan tukeista valtaosa. Vastaavasti kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeista valtaosa on muita kuin tyvitukkeja. — Tässä tapauksessa yhtälöt laskettiin H e i s k a s e n ja R i k k o s e n (1976, s. 34) esittämän eteläsuomalaista mäntyä koskevan taulukon perusteella. Ensimmäiselle oksaisuuslaatuluokalle käytettiin tyvitukkien yhtälöä ja kolmannelle oksaisuuslaatuluokalle muiden tukkien yhtälöä. Toisen oksaisuuslaatuluokan arvot otettiin painottamalla em. tuloksia painoilla 0,7 (tyvitukit) ja 0,3 (muut tukit).

Tulokset eivät ole tarkat, koska eri oksaisuuslaatuluokkien tyviosuus riippuu etäisyydestä alimpaan kuivaan oksaan, jota ei ole voitu saada yhdeksi tekijäksi kuoriyhtälöihin. Epätarkkuuden vaikutus tuloksiin on kuitenkin vähäinen.

Em. aineistosta lasketut toisen asteen polynomiyhtälöt olivat seuraavat.

$$\text{Tyvitukit: } y = 6{,}0 + 0{,}9849\, d - 0{,}02229\, d^2$$
$$\text{Muut tukit: } y = 6{,}5 + 0{,}0007579\, d - 0{,}0009010\, d^2$$

jossa y = kuoren osuus % tukin tilavuudesta
d = kuoreton latvaläpimitta, cm

Kuoren arvo saadaan kertomalla sen tilavuus sen yksikköhinnalla.

Sahatavaran saanto eri oksaisuuslaatuluokan tukeista voidaan laskea ottamalla lähtökohdaksi edellä laskettu keskimääräinen kuoreton latvaläpimitta. Yhtälöt on aiemmin esitetty sivulla 100. — Tässä tapauksessa saannot laskettiin tukin taulukkotilavuudesta.

Sahatavaran arvo saadaan selvitetyksi kertomalla saannon osoittama sahatavaran tilavuus yksikköhinnalla. Yksikköhinta riippuu aiemmin todetun mukaisesti oksaisuuslaatuluokan lisäksi myös tukin järeydestä. Yhtälöt on aiemmin esitetty sivulla 109. — Tässä tapauksessa lähtökohtana pidettiin tavallisinta tilannetta, jolloin sahatavaralaadut I. . .IV hinnoitellaan samalla arvolla (soirot ja laudat erikseen).

Purun määrä riippuu sahatukin järeydestä ja sahatavaran määrästä. Yleensä purua tulee 10. . .14 % tukin tilavuudesta (S i i m e s 1962 b). Laskennallisesti on helpointa esittää puru prosentteina sahatavaran tilavuudesta. — Tässä tapauksessa yhtälöt laskettiin H e i s k a s e n (1976, s. 53) esittämän taulukon perusteella. Yhtälö sai muodon

$$y = 39{,}8 - 1{,}160\ d + 0{,}01607\ d^2$$

jossa y = puru prosentteina sahatavarasta
d = kuoreton latvaläpimitta, cm.

Kuoren tavoin purun arvo saadaan kertomalla sen määrä sen yksikköhinnalla.

Sahatavaran tuoreina mittoina todettava tilavuus saadaan nimellismitoista likimäärin kertomalla luvulla 1,073. Aivan tarkasti kerroin ei pidä paikkaansa, koska tarkka arvo riippuu asetteesta. Kuivumisvara otetaan nimittäin eri tavalla huomioon eri etäisyydellä ytimestä. Mitään käytännöllistä merkitystä epätarkkuudella ei ole.

Kun tukin kuorellisesta tilavuudesta vähennetään sahatavaran tuoreeksi laskettu tilavuus sekä purun ja kuoren määrät, loppu on hakkeeksi menevää puuainetta. Sen arvo saadaan kertomalla sen määrä yksikköhinnalla.

Edellä esitettyjä laskentatapaa sovellettaessa tarvitaan vielä tieto eri tuotteiden hintasuhteista. — Jäljempänä esitettävät tulokset perustuvat seuraaviin suhteellisiin arvoihin.

u/s-lauta	= 100	(tilavuusyksikköä	kohti)
Puru	= 7	»	»
Kuori	= 7	»	»
Hake	= 15	»	»

Tulokset on esitetty suhteellisina lukuina taulukossa 55. Keskimääräinen runko on merkitty luvulla 100. — Keskimääräiseksi rungoksi otettiin likimäärin aineiston keskiarvojen mukainen puu, jonka rinnankorkeusläpimitta oli 27 cm ja jossa etäisyys alimpaan kuivaan oksaan oli 5 m.

Taulukko on ajateltu käytettäväksi yksinkertaisesti siten, että leimauksen yhteydessä selvitetään relaskooppikoealoin tilavuusmääräisesti keskimääräinen rungon rinnankorkeusläpimitta ja etäisyys alimpaan kuivaan oksaan. Taulukosta luetaan näiden funktiona suhteellinen sahatukin arvo kuorellista tilavuusyksikköä kohti.

Taulukko 55. Sahatukkien arvo tilavuusyksikköä kohti rungon rinnankorkeusläpimitan ja alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden (x_1) mukaan suhteellisina lukuina.

Table 55. Relative value of saw logs per volume unit according to the breast height diameter of the stem and the distance to the lowest dead branch.

x_1 dm	Rinnankorkeusläpimitta, cm — *Breast height diameter, cm*																									
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
10	87	88	88	89	90	90	91	92	93	93	94	95	96	96	97	97	98	98	99	99	99	98	98	97	97	96	94
15	87	88	88	89	90	91	91	92	93	94	95	95	96	97	97	98	98	99	99	99	99	99	98	98	97	96	95
20	87	88	89	89	90	91	92	93	93	94	95	96	97	97	98	99	99	100	100	100	100	100	99	99	98	97	96
25	87	88	89	90	90	91	92	93	94	95	96	97	98	98	99	100	100	101	101	101	101	101	101	100	100	99	98
30	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	98	99	100	101	101	102	102	103	103	103	102	102	101	101	99
35	87	88	90	91	92	93	94	95	96	97	98	98	99	100	101	102	102	103	103	104	104	104	104	104	103	102	101
40	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	103	104	105	105	105	105	105	105	105	104	103
45	88	89	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	104	105	106	106	107	107	107	107	106	106	105
50	89	90	91	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	105	106	107	107	108	108	108	108	108	107	107
55	89	91	92	93	94	95	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	106	107	108	109	109	109	109	109	109	109	108
60	90	91	92	94	95	96	97	98	99	101	102	103	104	105	106	107	107	108	109	110	110	111	111	111	111	111	110
65	90	92	93	94	96	97	98	99	100	101	102	103	104	106	107	107	108	109	110	111	111	112	112	112	112	112	112
70	90	92	93	95	96	97	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	112	113	113	114	114	114	114
75	91	93	94	95	97	98	99	100	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	114	115	115	115	115	115
80	91	93	95	96	97	99	100	101	102	103	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	115	116	116	117	117	117
85	92	93	95	97	98	99	101	102	103	104	105	106	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	117	118	118	118	118
90	92	94	96	97	99	100	101	102	104	105	106	107	108	110	111	112	113	114	115	116	117	118	118	119	119	120	120
95	93	94	96	98	99	100	102	103	104	106	107	108	109	110	112	113	114	115	116	117	118	119	120	120	121	121	121
100	93	95	96	98	100	101	102	104	105	106	107	109	110	111	112	114	115	116	117	118	119	120	121	122	122	123	123
105	94	95	97	98	100	101	103	104	106	107	108	109	111	112	113	114	116	117	118	119	120	121	122	123	123	124	124
110	94	96	97	99	100	102	103	105	106	107	109	110	111	113	114	115	116	118	119	120	121	122	123	124	125	125	126
115	94	96	98	99	101	102	104	105	107	108	109	111	112	113	115	116	117	119	120	121	122	123	124	125	126	127	127
120	95	96	98	99	101	102	104	105	107	108	110	111	113	114	115	117	118	119	121	122	123	124	125	126	127	128	129
125	95	97	98	100	101	103	104	106	107	109	110	112	113	115	116	117	119	120	122	123	124	125	126	128	129	129	130
130	96	97	99	100	102	103	104	106	107	109	111	112	114	115	117	118	120	121	122	124	125	126	128	129	130	131	131
135	96	98	99	100	102	103	105	106	108	109	111	112	114	116	117	119	120	122	123	125	126	127	129	130	131	132	133
140	96	98	99	101	102	104	105	107	108	110	111	113	114	116	118	119	121	123	124	126	127	128	130	131	132	133	134
145	97	98	100	101	102	104	105	107	108	110	112	113	115	116	118	120	122	123	125	126	128	129	131	132	133	134	135
150	97	99	100	101	103	104	106	107	109	110	112	113	115	117	119	120	122	124	126	127	129	130	132	133	134	136	137

6. TULOSTEN TARKASTELUA

Tässä tutkimuksessa käytettyä rungoittaisten mittausten aineistoa on pidettävä vastaaviin tutkimuksiin verrattuna suurena. Esim. Heiskasen (1954 a) vastaava aineisto käsitti 3393 runkoa. Lisäksi hän selvitti tyvitukin laatuluokan merkitystä koko rungon laadun osoittajana 46 koealalla, joilta mitattiin kultakin 70...100 runkoa. — Käsillä olevan tutkimuksen aineiston heikkoutena on kuitenkin se, ettei sen edustavuudesta voida esittää mitään varmaa tietoa. Kun tahallisesti pyrittiin saamaan aineistoon sekä hyviä että huonoja leimikkoja, on kuitenkin luultavaa, että tuloksena saadut regressiot ovat varsin oikeita, vaikka keskiarvotulokset voisivatkin poiketa jostakin tukkirunkopopulaatiosta melkoisesti.

Sahaustulokset perustuvat sitä vastoin suppeaksi katsottavaan aineistoon. Esim. Ronkasen (1950) lenkouden vaikutusta koskeneessa tutkimuksessa sahattiin 1787 tukkia. Vastaavassa Siimeksen (1957) tutkimuksessa aineistoa oli eräällä sahalaitoksella 737 tukkia. Toiselta sahalaitokselta mitatun aineiston suuruutta ei ilmoitettu, mutta se lienee ollut samaa luokkaa. — Granvikin (1967) tuotostutkimuksessa tukkeja oli talviaineistossa 1159 ja kesäaineistossa 538. Norjalaisissa kuusitukkien sahaustutkimuksissa aineisto oli 2000 tukin luokkaa (Klem ja Karlsen 1951, Øy 1974), ja myös ruotsalaisen Orvérin (1970 a, b) mäntytukkiaineisto oli mittava, edellinen 1206 tukkia, jälkimmäinen 848 tukkia.

Ainoastaan silloin, kun on tukkikohtaisesti tutkittu esim. jonkin vian vaikutusta, on tyydytty muutaman kymmenen tukin aineistoon. Analyysi on tällöin tehty yleensä yhdestä tai muutamasta läpimittaluokasta (esim. Heiskanen ja Siimes 1959, Heiskanen 1968 c).

Toisaalta koesahausaineiston pienuutta ei ole korostettava liikaa, koska analyysi tehtiin poikkeuksellisesti tukkikohtaisesti. Tätä menetelmää on käytetty vain harvoin suurimman aineiston ollessa 1930-luvulta (Heiskanen 1951 c). Yleensä koesahaukset on tehty läpimittaluokittain ilman että kunkin tukin sahaustulosta on voitu saada erotetuksi muiden tukkien tuloksesta. Tällä menettelyllä on tiettyjä etuja (Vuoristo 1936 a, s. 21), mutta mm. luotettavuuden arviointi jää puutteelliseksi tuntemattomaksi jäävän sisäisen vaihtelun vuoksi. Lisäksi koesahausaineisto on ainutlaatuinen sikäli, että tulokset voitiin saada myös rungoittain.

Koesahausaineiston suppeudesta voidaan joka tapauksessa päätellä, ettei käsillä olevassa tutkimuksessa esitettyjä tuloksia läpimitan ja oksaisuuslaatuluokan vaiku-

tuksesta saantoon ja sahatavaran yksikköhintaan pidä yleistää liiaksi. Tämän vuoksi kaikki tulokset on esitetty siinä muodossa, että tarvittaessa kaikki osatulokset voidaan vaihtaa luotettavammaksi katsottuihin yhtälöihin. Niinpä saannon riippuvuus kuorettomasta latvaläpimitasta voidaan ottaa sahalaitosten tilastoista, mikäli tällaiset tiedot saadaan niistä selville. Samoin sahatavaran arvon riippuvuus latvaläpimitasta ja tukin laadusta voidaan selvittää tilastojen avulla, mikäli tilastoa kerättäessä on huolehdittu tarpeellisten tietojen muistiin merkitsemisestä. — Se, ettei tällaisiin tilastotietoihin ole tässä yhteydessä turvauduttu, johtuu paljolti kunnollisen tilastoaineiston puutteesta.

Esitetyn sovellutuksen heikkoutena on se, että tietoina käytetään leimikon keskimääräisiä lukuja. Niinpä kultakin leimikolta ehdotetaan selvitettäväksi ainoastaan tukkirunkojen rinnankorkeusläpimitta sekä etäisyys alimpaan kuivaan oksaan. Kun kuitenkin monet riippuvuudet olivat muita kuin suoraviivaisia riippuvuuksia, keskiarvon käyttäminen ei vie tarkasti ottaen oikeaan tulokseen. Jakauman tunnusluvuilla tulokset voidaan muuntaa likimäärin oikeiksi, mutta tällaiseen menettelyyn ei katsottu olevan aihetta työmäärän olennaisen lisääntymisen vuoksi. Pyrittäessä käytännössä helposti sovellettavaan menettelytapaan on pakko tinkiä tarkkuusvaatimuksista.

Selvää myös on, ettei käsillä olevan tutkimuksen aineistosta voida selvittää, missä määrin taulukossa 55 esitettyjä lukuja voidaan hyödyntää käytännössä. Vastaus voidaan saada ainoastaan riippumattomien aineistojen perusteella. Samassa yhteydessä on myös tehtävä havaintoja menetelmän teknisestä käyttökelpoisuudesta ja mahdollisuuksista väärinkäsityksiin. Vasta myöhemmät kokemukset voivat kertoa, missä määrin ehdotetulla sovelluksella on käyttöarvoa.

KIRJALLISUUTTA

AGER, B. H., NILSSON, N. E. & von SEGEBADEN, G. 1964. Beskrivning av vissa skogstekniskt betydelsefulla bestånds- och trädegenskaper samt terrängförhållanden. Summary: Description of some for logging operations important characteristics of forest stands, trees and terrain in Sweden. Stud. For. Suec. 20: 1—159.

ALMQVIST, G. & HALLMANS, G. 1947. Redogörelse för undersökning av volymviktens och kvistförekomstens samband med avsmalning för massaved. Skogstyrelsens expertkommitte för virkesmätning. S.D.A. Litt. X_u 16: 1—55.

ARO, P. & RIKKONEN, P. 1966. Havusahatukkien latvamuotoluvut. Summary: Top form factors of softwood saw logs. Commun. Inst. For. Fenn. 61 (7): 1—77.

ASIKAINEN, K. 1980. Tukin laadun vaikutus sahaustulokseen. Sahapuupäivät 31. 1.—1. 2. 1980. Moniste. 11 s.

— & HEISKANEN, V. 1970. Havusahatukkien laadun mukaiset arvosuhteet. Summary: The value relationships of coniferous sawlogs on the basis of their grade. Commun. Inst. For. Fenn. 70 (3): 1—77.

— & PANHELAINEN, A. 1970. Tukin lenkouden vaikutus sahaustulokseen. Paperi ja Puu 52 (4 a): 219—230.

BONSDORF, A. J. 1933. Tukkipuiden laatuluokituksesta ja hinnoittelusta erinäisillä valtion asutustiloilla Kainuussa. Suomen Paperi- ja Puutavaralehti 15 (9): 370—378, (10): 412—418.

CAJANDER, A. K. 1949. Forest types and their significance. Acta For. Fenn. 56: 1—71.

DAHLEN, L. & WARG, A. 1978. Värdering av stämplingsposter. Summary: Valuation of timber stands marked for felling. Rapp. Instn. Virkeslära Sveriges Lantbruksuniv. 105: 1—32.

Forskrifter for måling av skurtømmer. 1976. Lantbruksdepartementet. Oslo. 24 s.

GISLERUD, O. 1974. En orienterende undersøkelse over sammenheng mellom skurlastkvalitet og avsmalning hos skurtømmer. Summary: A preliminary investigation on relation between lumber quality and taper of sawtimber. Medd. Norsk Inst. Skogforskn. 31 (6): 241—270.

GRANVIK, B-A. 1957. Kenttäpyörösahauksesta. Metsäkäsikirja, 2. osa, s. 835—844. Kustannus Oy Kivi. Helsinki.

— 1967. Havusahatavaran valmistus kenttäpyörösahalla. Työtieteellinen tutkimus. Summary: On the preparation of coniferous sawn goods using circular saws. Acta For. Fenn. 84 (3): 1—162.

GRENAA KRISTENSEN, V. 1978. Råtraeopmåling i Norden. Del I. Danmark. Teoksessa: Virkesmätning i Norden, s. DK 1—17. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 104: 1—179.

HAKKILA, P. 1971. Coniferous branches as a raw material source. Tiivistelmä: Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. Commun. Inst. For. Fenn. 75 (1): 1—60.

— , LAASASENAHO, J. & OITTINEN, K. 1972. Korjuuteknisiä oksatietoja. Summary: Branch data for logging work. Folia For. 147: 1—15.

HEIKINHEIMO, O. 1953. Puun rungon luontaisesta karsiutumisesta. Summary: On natural pruning of tree stems. Commun. Inst. For. Fenn. 41 (5): 1—39.

HEISKANEN, V. 1951 a. Sahatukkien laatuluokittelutavat. Silva Fenn. 69: 76—85.
— 1951 b. Sahatukkien laatuluokittelulla saavutettavista eduista. Silva Fenn. 69: 86—91.
— 1951 c. Mäntysahatukkien laadun mukaisista arvosuhteista. Silva Fenn. 69: 92—103.
— 1951 d. Mäntysahatukkien laatuarvioinnin tarkkuudesta. Silva Fenn. 69: 104—112.
— 1954 a. Tutkimuksia mäntytukkipuiden laatuluokitustavoista ja niiden tarkkuudesta. Summary: Investigations into pine tree grading methods and their accuracy. Commun. Inst. For. Fenn. 44 (1): 1—132.
— 1954 b. Vuosiluston paksuuden ja sahatukkien laadun välisestä riippuvuudesta. Summary: On the interdependence of annual ring width and sawlog quality. Commun. Inst. For. Fenn. 44 (5): 1—28.
— 1955. Tutkimus tukkipuiden, sahatukkien ja sahatavaran laadusta Inarin alueella. Helsinki. 14 s.
— 1959. Puu sahateollisuuden raaka-aineena. Teoksessa: 100 vuotta sahateollisuutta, s. 66—87. Helsinki.
— 1962. Mäntysahatukkien laatuluokituksen tarkkuudesta. Summary: Accuracy of the grading of pine sawlogs. Commun. Inst. For. Fenn. 55 (16): 1—15.
— 1963. Sahatukkien laatulajittelusta ja laatumaksutavasta. Paperi ja Puu 45 (4): 135—140.
— 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männiköissä. Summary: On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands. Acta For. Fenn. 80 (2): 1—62.
— 1966. Raaka-aineen käytön tehokkuus sahateollisuudessa. Puumies 12 (12): 385—394.
— 1968 a. Kuusitukkien laatuluokkajakautuma Etelä-Suomessa. Summary: Grade distribution of spruce logs in Southern Finland. Silva Fenn. 2 (1): 1—18.
— 1968 b. Menetelmä havusahatukkien järeyden mukaisten arvosuhteiden määrittämiseksi. Paperi ja Puu 50 (5): 289—298.
— 1968 c. Havaintoja eräiden vikaisuuksien vaikutuksesta mäntytukkien sahauksessa. Summary: Observations of the influence of some log defects in sawing of pine logs. Silva Fenn. 2 (3): 137—147.
— 1970. Sahatukkien mittaus- ja hinnoittelututkimus 1970. I. Ennakkotietoja pölkyttäisten ja upotusmittausten tuloksista. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 81 s.
— 1976. Havusahatukkeja koskevia arvolaskelmia vv. 1974—1975. Summary: Value calculations for softwood sawlogs in 1974—1975. Folia For. 251: 1—64.
— & ASIKAINEN, K. 1969. Havusahatukkien järeyden mukaiset arvosuhteet ja hinnoitteluperusteet. Summary: The value relationships and pricing principles of coniferous sawlogs on the basis of their diameter. Commun. Inst. For. Fenn. 69 (3): 1—122.
— & RIKKONEN, P. 1971. Havusahatukkien todellisen kiintomitan määrittäminen latvaläpimitan perusteella. Summary: Determination of the true volume of coniferous saw logs on the basis of top diameter. Folia For. 128: 1—42.
— & RIKKONEN, P. 1976. Havusahatukkien kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Bark amount in coniferous sawlogs and factors affecting it. Folia For. 250: 1—67.
— & SIIMES, F. E. 1959. Tutkimus mäntysahatukkien laatuluokituksesta. Paperi ja Puu 41 (8): 359—368.
HUURI, O. 1976. Kallistumisilmiö istutusmänniköissä. Tiedustelun tuloksia. Summary: Tilting of planted pines; survey results. Folia For. 265: 1—22.
ILVESSALO, Y. 1947. Pystypuiden kuutioimistaulukot. Summary: Volume tables for standing trees. Commun. Inst. For. Fenn. 34 (4): 1—149.
ITKONEN, V. 1979. Sahatavaran markkinointi. Akh, metsäopetusosasto ja Valtion painatuskeskus. Helsinki. 312 s.
JAKOBSSON, S-G. 1976. Ett förslag till klassificeringssystem för gransågtimmer. Summary: A proposal for grading system of spruce saw timber. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 97: 1—65.

JUSSILA, E. A. 1935. Raaka-aineen vaikutus sahatavaran laatuun. Yksityismetsänhoitajayhdistyksen vuosikirja VIII, s. 24—38.

— 1936. Sahatavaran lajittelu. Summary: Grading of sawn timber. Puutekn. Tutk. Kannatusyhd. Julk. 19: 1—69.

KANGAS, E. 1962. Über Krummstämmigkeit und Verzweigung der finnischen Kiefer. Commun. Inst. For. Fenn. 55 (15): 1—16.

KLEM, G. G. & KARLSEN, O. 1951. Skurutbyttets variasjon med skurordre, tømmerdimensjon og avsmalning ved en moderne sirkelsag. Summary: Lumber recovery from a modern circular saw. Medd. Norske Skogforsøksv. 38: 1—30.

KÄRKKÄINEN, M. 1969. Metsän vaurioituminen kesäaikaisessa puunkorjuussa. Summary: The amount of injuries caused by timber transportation in the summer. Acta For. Fenn. 100: 1—35.

— 1972. Havaintoja kuusen oksaisuudesta. Summary: Observations on the branchiness of Norway spruce. Silva Fenn. 6 (2): 90—115.

— 1973. On the properties of tree wounds due to timber transportation in thinnings. Tiivistelmä: Harvennuspuutavaran kuljetuksen aiheuttamien puustovaurioiden ominaisuuksista. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos, tiedonantoja 22: 1—174.

— 1976. Puun ja kuoren tiheys ja kosteus sekä kuoren osuus koivun, kuusen ja männyn oksissa. Summary: Density and moisture content of wood and bark, and bark percentage in the branches of birch, Norway spruce, and Scots pine. Silva Fenn. 10 (3): 212—236.

— 1978. Havaintoja iän vaikutuksesta lehtikuusen puuaineen tiheyteen. Summary: Observations on the effect of age on the basic density of larch wood. Silva Fenn. 12 (1): 56—64.

LIEDES, M. & MANNINEN, P. 1975. Otantamenetelmät. Toinen korjattu painos. Gaudeamus. Helsinki. 255 s.

MAGNUSSON, B. 1976. Sågverk 73. Del 2. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 96: 1—65.

Mäntysahatukkien arvosuhteet ja hinnoitteluperusteet Pohjois-Suomessa. Sahatukkien hinnoittelutoimikunnan mietintö. 1956. Helsinki. 112 s.

Mätningsinstruktioner rekommenderade av Virkesmätningsrådet. 1979. Virkesmätningsrådet, Nr. 1—79. 38 s.

ORVÉR, M. 1970 a. Klassificering av tallsågtimmer med objektivt mätbara faktorer. Summary: Grading of Scots pine saw timber using objectively measurable factors. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 65: 1—138.

— 1970 b. 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. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 66: 1—54.

— 1973. En jämförelse mellan några apteringsalternativ för tallstammar. Summary: A comparison between some marking alternatives for cross cutting for Scots pine stems. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 84: 1—79.

PETERSON, O. 1960. Sågtimmerkvaliteten i Kalix ådal. Rapp. Uppsats. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 27: 1—56.

PÄIVINEN, R. 1978. Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle. Summary: Taper and bark thickness models for pine, spruce and birch. Folia For. 353: 1—32.

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 Julk. 23: 1—34.

SAARI, E. 1932. Tutkimuksia Suomen sahateollisuuden raaka-ainekustannuksista. Summary: Investigations into the cost of raw materials in the Finnish saw-mill industry. Acta For. Fenn. 38 (4): 1—125.

Sahatavaraopas 4. 1975. Helsinki. 34 s.

SARVAS, R. 1944. Tukkipuun harsintojen vaikutus Etelä-Suomen yksityismetsiin. Referat: Einwirkung der Sägestammplenterungen auf die Privatwälder Südfinnlands. Commun. Inst. For. Fenn. 33 (1): 1—268.
— 1964. Havupuut. WSOY. Porvoo—Helsinki. 518 s.
SIIMES, F. E. 1951. Sahatukkien laatuluokittelu sahatavarain käytön, lajittelun ja koesahausten valossa. Silva Fenn. 69: 63—75.
— 1954. Esimerkki sahatukkien laatuluokittelun vaikutuksesta. Metsät. Aikak. 71 (1): 5—7.
— 1957. Tukkien lenkouden vaikutus sahaustulokseen. Paperi ja Puu 39 (3): 93—98.
— 1962 a. Tukkien koon, muodon ja laadun sekä sahausasetteen vaikutus sahaustulokseen. Paperi ja Puu 44 (1): 3—16.
— 1962 b. Sahausjätteen ja pienpuun määrät ja ominaisuudet. Paperi ja Puu 44 (2): 63—66.
UUSVAARA, O. 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. Commun. Inst. For. Fenn. 80 (2): 1—105.
Valtioneuvoston päätös järeän havupuun ohjehinnoista. 1944. S.as.kok. 833: 1425—1449.
Valtioneuvoston päätös puiden myynnistä valtionmetsistä. 1922. S.as.kok. 140: 552—558.
WESTERN, H. 1971. Tre- og kvistdata. Summary: Tree and branch study. Norske Skogforsøksv. Driftstekn. Rapp. 10: 83—93.
VUORISTO, I. 1932. Tukkien laatulajittelusta sahausta varten. Tapio 25 (21—22): 475—479.
— 1935. Tutkimuksia lajittelemattoman mäntysahatavaran eri kokojen hintasuhteista ja hinnanvaihteluista vv. 1922—31. Referat: Über die Preisverhältnisse und Preisveränderungen unsortierter Kiefernsägewaren verschiedener Dimension in den Jahren 1922—31. Commun. Inst. For. Fenn. 20 (5): 1—114.
— 1936 a. Tutkimuksia sahatukkien arvosuhteista. I. Tukkien latvaläpimitan vaikutus sahaustuloksen myyntihintaan. Referat: Untersuchungen über die Wertverhältnisse der Sägebläcke. Einwirkung des Zopfdurchmessers der Sägebläcke auf die Verkaufpreise des Sägeergebnisses. Commun. Inst. For. Fenn. 23 (3): 1—152.
— 1936 b. Havupuumetsien laatuarvo ja laadun arviointi. Silva Fenn. 39: 232—247.
— 1937 a. Tukkien hinnoitus laatuarvion perusteella. Metsätalous (2): 37—41.
— 1937 b. Tukkipuiden hinnoittamisesta. Keskusmetsäseura Tapion ja metsänhoitolautakuntien toiminta v. 1936, s. 253—267. Helsinki.
— 1938. Sahapuiden apteerauksesta. Metsätalous (5): 116—118, (6): 134—137.
ØY, H. 1974. Verdien of forskjellige kvaliteter og dimensjoner av grantømmer ved skurlastproduksjon. Summary: The value for different log qualities and dimensions of Norway spruce in sawmilling. Norsk Inst. Skogforskn. 31 (7): 273—325.

SUMMARY

GRADING OF PINE SAWLOG STEMS

In Finland, grading of logs used in the sawmill industry is used only occasionally except for applying minimum requirements. This is considered to be a drawback especially in silviculture where some incentive is needed for growing stands of good quality.

In this paper the possibilities of evaluating the quality of standing trees on the basis of objective measurements are studied.

Two empirical materials are used in this study. One consists of measurements which were made in 52 marked stands in various parts of Finland. The number of stems measured was 3404 from which 7170 saw logs were made. The other material, consisting of 221 stems or 609 saw logs, were sawn using the normal methods of cant sawing. The yield and quality of sawn goods were measured and correlated with the measured tree properties.

In the study the system of H e i s k a n e n and S i i m e s (1959) was applied when grading the logs. Its main points are presented in Table 2. In this paper, when only the maximum limits for knots were used as the basis in grading the result is called the *knottiness class* of the log. When all the factors mentioned in Table 2 were taken into account, the result is called the *quality class*.

In the stands, numerous measurements were made on the stems. For example, breast height diameter, height, taper, and the distance from the ground to the lowest dead branch, first living branch, and living crown were measured. After cutting the stem into saw logs, their knottiness class and quality class were evaluated. In addition to this, numerous measurements concerning taper, sweep, diameters, and bark were made.

The quality criterion of the stems was the percentage of logs in the first, second, and third knottiness and quality class. The percentages were computed using the log volume. In the case of stems of very high quality, the percentage of the first knottiness class was 70. . .90 per cent, and in stems of low quality, only 0. . .10 per cent. The percentages of the third knottiness class were 10. . .20 per cent and 70. . .90 per cent, respectively.

In the first phase of the study the accuracy of the stem evaluation was studied. According to the results, the accuracy in butt log evaluation is quite good. If the butt portion of a stem is estimated to be in the first knottiness class, then the butt log made by the logger belonged in 90 per cent of cases to this class. Even in other cases the correspondence was good (Table 3 and 4). This shows that it is possible to asses quality, although some objective measurement is preferred.

It was found when the quality of the logs was studied that the logs of the first knottiness or quality class originated almost solely from the butt part of the stems. The low quality logs were mainly obtained from the crown parts of the stem (Table 5). As the size of the stems increased, the volume percentage of the best logs increased (Tables 6 and 7). The only quality factor which was worse in butt logs than in other logs was the sweep (Table 8). The sweep was worse in knotty trees than in other trees.

Many properties of the logs of various knottiness classes are presented in Table 9. According to the results, the best logs were larger and they originated from larger stems. There were some differences in branch variables, too. Especially the distance to the lowest dead branch was much

larger in the stems from which the best logs originated. However, it is interesting to note that the distance to the living crown was not a separating factor. These results refer to the possibility of using the stem size and the distance from the ground to the lowest dead branch as quality factors in objective measurements.

The taper in stems or logs was not a good separating factor. In the same breast height diameter class the best stems tapered less than other stems, the difference in practice being negligible. Even in logs the possibilities of using taper as a factor for separating quality classes are small. The top diameter of the logs is much better since the size of butt logs is larger than that of other logs. However, oversized logs can be of low quality in Finnish conditions due to the too fast growth rate.

As over one hundred spruce trees were measured some properties of them are presented, too (Table 10). However, they have not been analyzed in detail in this study.

The correlation analysis carried out on the stem data confirmed the results obtained in tabulation: the percentage of the first knottiness or quality class was best correlated with some branch variables and the size of the stems. Especially the distance to the lowest dead branch or lower border of the dead crown was useful. There were differences between districts, however, and in some cases it was difficult to find out any factor which correlated well with the criterion variables. The coastal regions, in particular, were problematic.

Stepwise regression analysis was also applied. The equations were complicated and contained many terms which were statistically significant. However, it was possible to distinguish two main factors: stem size and branch variables. As the size is easily determined through breast height diameter measurements and the distance to the lowest dead branch was one of the best branch variables, they were chosen for further study. Measuring tree height increased the accuracy of the quality prediction, but the increase was in practice negligible.

Using some simple equations as a basis, Tables 27 and 28 were computed. These tables show the volume percentage of the first and third knottiness class as a function of the variables mentioned above. When the stand averages were used for tables, the predictions in 52 logging areas were sufficiently accurate taking into account the simplicity of the method (Fig. 29 and 30).

The effect of age and site quality were analysed, too. As a rule, the best sites yielded stems of lower quality. However, the quality assesment system outlined above seems possible for different sites.

The results described above were controlled using the smaller material for cant sawing. The chosen set-ups were typical for different top diameter classes. The log volumes were calculated using the Newton rule or a table which is used in the Finnish practical forestry. In both cases, the volumes include the bark.

The yield of sawn goods was smaller in the best logs than in other logs. In each knottiness or quality class, the yield increased with increasing log diameter. In small logs, about 90 per cent of the sawn goods were battens, and in larger logs about 65 per cent.

The unit volume-based prices of sawn goods were calculated using two methods. In the first method, grades I. . .IV of sawn goods were priced separately in spite of the fact that these qualities are normally sold as u/s-quality in the European market. In the other method, the price was the same for the first four qualities, and only the other grades were priced separately. In both of the methods, the battens and boards were priced separately. The basic price was u/s-board = 100.

The results which are presented in Tables 38. . .46 show that there are great differences in the volume prices of sawn goods between logs of various knottiness classes or quality classes. Especially in the best logs even the size of the logs affected the volume price. These results are confirmed by the results obtained from the quality distributions of sawn goods (chapter 44).

When the yield and volume of sawn goods are taken into account at the same time, the value of sawn goods per log volume is obtained. These results are presented in Tables 47. . .52. The results show that there are great differences in the value of logs and these differences can be predicted using appropriate factors.

The results were also computed using the stem as a unit so that the effect of different stem variables on the value of logs could be analyzed. There were some differences in the yield, but a more important factor was the unit price of sawn goods. It was mainly determined by the stem size. In addition to this, the distance to the lowest dead branch was an important factor in predicting the value of stems.

Table 55 was computed on the basis of the results obtained in the study. It shows the relative value of stems per log volume when the breast height diameter and the distance to the lowest dead branch are known. In computing the table, the value of sawn goods, that of chips, saw dust, and bark were taken into account. A system was developed in which various assumptions concerning yield, price relationships, etc. can be changed. The system in thus flexible and the table can be changed according to the prevailing conditions.

TYÖNTEKIJÄN FYSIOLOGINEN JA BIOKEMIALLINEN KUORMITTUMINEN HAKKUUTYÖSSÄ

MARJA-LIISA SALMINEN

Summary

HEART RATE CHANGES AND SOME BIOCHEMICAL FACTORS DURING DAY AT CUTTING WORK

HELSINKI 1980

ODC 302
ISBN 951-40-0454-X
ISSN 0026-1610

SALMINEN, M.-L. 1980. Työntekijän fysiologinen ja biokemiallinen kuormittuminen hakkuutyössä. Summary: Heart rate changes and some biochemical factors during the day at cutting work. Commun. Inst. For. Fenn. 96 (6): 1—35.

Hakkuumiesten sydämen syketaajuuden ja eräiden biokemiallisten tunnuksien muutoksia seurattiin työpäivän aikana. Iltapäivällä sydämen syketaajuus kohosi korkeammalle tasolle kuin aamupäivällä sekä sydän reagoi huonommin kuormituksen vaihteluun. Regressiomalleissa syketaajuutta selittävät muuttujat antoivat koko päivän osalta matalat selitysasteet, koska mallissa oli vaikea huomioida taukojen vaikutuksia. Selitysasteet paranivatkin analysoimalla syketaajuustiedot työjaksoittain ja ottamalla mukaan kumuloituvia muuttujia.

Hakkuumiehet nauttivat aamulla ja työn aikana noin 40 % päivän energiamäärästään, joten elimistön on käytettävä varastoimaansa energiaa pystyäkseen suoriutumaan raskaasta ruumiillisesta työstä. Varsinkin aamupäivälle on tyypillistä, että energiavarastojen pilkkoutumista ja mobilisointia kiihdyttävien hormonien eritys kohoaa. Katekolamiineista adrenaliinin pitoisuus virtsassa on yleensä korkeimmillaan aamutunteina, noradrenaliinin eritys sen sijaan on korkeimmillaan keskipäivällä, joillakin koehenkilöillä myös iltapäivällä. Veren sokeripitoisuudessa ei tapahtunut suuria muutoksia, sen sijaan vapaiden rasvahappojen pitoisuus seerumissa kohosi selvästi keskipäivällä ja laski hiukan iltapäivällä.

The changes in the heart rate and some biochemical factors during the working day were followed in cutting workers. In the afternoon the heart rate increased compared with the morning and the heart did not react as well to changes in the work load. When we tried with regression analysis to find variables explaning the heart rate during the whole day, the degrees of explanation were low because it was difficult to allow for the effects of the pauses in the models. The degree of explanation improved if the results of the heart rate were analysed for one work phase and when cumulative variables were used.

The cutting men took in about 40 per cent of their daily energy in the morning and during their time at work, hence, they have to use stored energy to be able to perform hard physical work. Particularly before noon, the secretion of hormones increased, stimulating the breakdown and mobilisation of energy reserves. Of the catecholamines, the adrenaline concentration in urine was usually at its highest during the morning hours, while the excretion of noradrenaline was highest at midday and with some workers also in the afternoon. The blood glucose level showed no big changes, while the serum concentration of free fatty acids increased clearly at noon and decreased a little in the afternoon.

Helsinki 1980. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 4

2. AINEISTO JA MENETELMÄT 6
   21. Koehenkilöt 6
   22. Menetelmät 7

3. TULOKSET 9
   31. Syketaajuuden päivittäinen vaihtelu 9
   32. Biokemialliset muutokset 11
      Veren glukoosi ja vapaat rasvahapot 11
      Hematokriitti ja veren elektrolyytit 12
      Virtsamäärä ja virtsan elektrolyytit 12
      Veren ja virtsan katekolamiinit ja steroidit 12
   33. Ruoasta saatu energia ja nesteen nauttiminen 15
      Painon muutokset 15

4. TULOSTEN TARKASTELU 17

KIRJALLISUUS 20

SUMMARY 22

Liitteet 23

1. JOHDANTO

Hakkuutyö on raskasta ruumiillista työtä. Työsykkeen perusteella on työntekijän kuormitusasteeksi saatu 40—60 % maksimaalisesta aerobisesta tehosta (Harstela ja Vuorinen 1977). Uusien työmenetelmien avulla työtä on pystytty keventämään (Harstela ym.: 1977). Toisaalta suurentuneet työn tuottavuusvaatimukset ovat lisänneet esimerkiksi raskaiden taakkojen kasaamista (Klen 1974, Valonen 1975). Hakkuumiehen kuormittumisessa onkin staattisen työn osuus huomattava.

Rasituksessa sympaattisen hermoston aktiivisuuden kohoaminen lisää sydämen syketaajuutta ja supistusvoimaa sekä nopeuttaa veren paluuta sydämeen. Verenkierrossa tapahtuu monia muutoksia, joilla pyritään turvaamaan toimivien lihaksien lisääntynyt hapen ja energian tarve. Työskentelevien lihaksien verisuonet laajenevat. Laajentumisen suuruus ja samalla toimivien lihaksien vastuksen aleneminen riippuu hapenkulutuksen suuruudesta (Smith ym. 1976). Passiivisten lihaksien ja elinten varsinkin maksan ja munuaisten verenkierto pienenee. Väheneminen riippuu kuormituksen voimakkuudesta (Rowell 1974). Pitkäkestoisessa, intensiteetiltään samana pysyvässä rasituksessa sydämen syketaajuus kohoaa, vaikka hapenkulutuksessa ei tapahdukaan muutoksia (Smith ym. 1976). Sydämen minuuttitilavuus pysyy näin samana, vaikka lyöntitilavuus pienenee. Syketaajuuden kohoaminen on seurausta ääreisverenkierrossa tapahtuneista muutoksista. Pitkäkestoisessa rasituksessa syntyy vilkkaan aineenvaihdunnan vuoksi runsaasti lämpöä. Jotta kehon lämpötila ei pääsisi kohoamaan elintoimintoja haittaavan korkeaksi, käynnistetään lämmönhukkamekanismit (Åstrand ja Rodahl 1977, Hyvärinen 1974). Osa verenkierrosta ohjataan iholle, josta lämpöä haihtuu ympäristöön, ja myös hikoilu lisääntyy.

Rasituksessa elimistön on huolehdittava työskentelevien lihaksien energiantarpeesta ja pidettävä veren glukoosi riittävän korkealla, jotta varmistetaan aivojen ja hermoston toiminta. Normaalissa ravitsemustilassa hiilihydraatit ja rasvat ovat elimistön tärkeimmät energian lähteet (Åstrand ja Rodahl 1977). Elimistön hiilihydraattivarastot ovat huomattavasti pienemmät kuin rasvavarastot. Lyhytaikaisessa, voimakkaassa rasituksessa energia saadaan pääasiassa hiilihydraateista joko aerobisesti tai anaerobisesti. Pitkäkestoisessa rasituksessa on sen sijaan edullista käyttää rasvoja hiilihydraattien lisäksi lihaksien energianlähteenä. Vapaiden rasvahappojen polttaminen energiaksi vaatii happea. Harjoittelu lisää rasvahappojen käyttöä energian lähteenä (Åstrand ja Rodahl 1977).

Toimivien lihaksien ravintoaineiden saanti taataan monen eri hormonin yhteisvaikutuksen tuloksena, joten yksittäisen hormonin pitoisuuden muutokset rasituksessa eivät aina ole selväpiirteisiä ja yksiselitteisiä (Galbo ym. 1977). Insuliinin pitoisuus veressä yleensä laskee, glukagonin pitoisuus sen sijaan kohoaa varsinkin pitkäkestoisessa rasituksessa. Seurauksena on maksan kiihtynyt glukoneogeneesi ja glukoosin lisääntynyt poistuminen maksasta. Myös muiden energiantuottoa kiihdyttävien hormonien eritys kohoaa. Katekolamiinien, lisämunuaisen erittämän adrenaliinin ja sympaattisen hermoston välittäjäaineen noradrenaliinin, kohoaminen veressä lisää lipolyyttisten entsyymien toimintaa ja vapaiden rasvahappojen pitoisuutta veressä, jolloin rasvojen osuus energianlähteenä suurenee. Plasman kortikosteroidien kohoaminen edistää maksassa tapahtuvaa glukoneogeneesiä.

Suurilla lihasryhmillä tehtävässä dynaamisessa työssä hapenkulutus on toimivien lihaksien aineenvaihdunnan vilkkauden mitta. Hapenkulutus on suoraviivaisessa suhteessa kuormituksen suuruuteen (Vuori 1976). Sydämen syketaajuuden ja hapenkulutuksen välillä vallitsee myös kiinteä, jokseenkin suoraviivainen riippuvuus submaksimaalisilla syketaajuuksilla.

Koska hapenkulutuksen suora mittaaminen maasto-olosuhteissa on vaativaa ja tyydyttäviin tuloksiin on vaikea päästä, arvioitiin työn kuormittavuutta sydämen syketaajuuden avulla. Syketaajuuden lisäksi mitattiin keskeiseksi katsottuja biokemiallisia muuttujia. Veren glukoosin pitoisuuden muutoksien lisäksi seurattiin seerumin vapaiden rasvahappojen pitoisuuden muutoksia. Rasvojen käyttö energian lähteenä lisääntyy pitkäkestoisessa rasituksessa, kun kuormitus on 30—60 % maksimaalisesta aerobisesta tehosta.

Hormoneista mitattiin seerumin 11-hydroksikortikosteroideja ja virtsasta 17-ketogeenisiä steroideja ja katekolamiineja. Vaikka katekolamiinien erityksen vaikuttavat monet tekijät, on niiden määrittäminen ollut keskeisellä sijalla kuormittumistutkimuksissa. Noradrenaliinin eritys on lisäksi sidoksissa työn fyysiseen kuormittavuuteen (Frankenhaeuser 1971). Lisämunuaisen kuorikerroksen hormoneja on vähemmän tutkittu, mutta ne vaikuttavat sekä energia-aineenvaihduntaan että yleiseen rasituksen sietokykyyn.

Hormonien mittaamisella virtsasta on etuna se, että näytteenotto on vaivatonta ja eritys saadaan määritetyksi keskimääräisenä tiettyä ajanjaksoa kohti (Frankenhaeuser 1975).

Elektrolyytti- ja nestetasapainon muutoksia pyrittiin arvioimaan mittaamalla hematokriittia sekä seerumin että virtsan natriumia ja kaliumia.

Ensimmäiseksi haluan kiittää tutkimuksessa mukana olleita hakkuumiehiä antoisasta yhteistyöstä. Käsikirjoituksen ovat lukeneet prof. Pentti Hakkila ja MMT Pertti Harstela Metsäntutkimuslaitokselta, LL Rainer Rauramaa Kuopion Korkeakoulun fysiologian laitokselta ja LL Katriina Kukkonen Kuopion Aluetyöterveyslaitoksen Maa- ja metsätoimistosta. Kiitän jokaista heistä huomionarvoisista parannusehdotuksista. Katekolamiinien määritykset suoritti huolella LuK Tua Äikäs. Maastotöissä avustivat mm. Leo Tervo ja Urpo Paananen. Käsikirjoituksen kirjoitti puhtaaksi Kaarina Niskanen ja englanninkielisen tekstin tarkasti Päivikki Ojansuu. Kiitokset myös heille.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Aineisto kerättiin vuoden 1978 aikana harvennustyömailta, joissa tehtiin pääasiassa kolmimetristä kuitupuuta ajouran varteen. Koehenkilöitä oli kaikkiaan seitsemän. Koehenkilöt 1 ja 2 työskentelivät kesäkuussa tehden kolmimetrisen kuitupuun lisäksi kaksi- ja viisimetrisiä pöllejä. Koehenkilöitä 3, 4 ja 5 tutkittiin syyskuussa, koehenkilöä 6 marraskuussa ja koehenkilöä 7 joulukuussa. Viimeksi mainittu hakkasi puita LEKA-menetelmällä.

Koehenkilöitä pyydettiin työskentelemään totunnaiseen tapaansa. Jokaista heistä seurattiin kahden päivän ajan. Lisäksi heidät totutettiin laitteisiin ja mittaustilanteeseen aikaisemmin. Koehenkilöt määräsivät itse koepäivänsä pituuden ja tauotuksen. He saattoivat syödä eväitään ja juoda haluamanaan ajankohtana. Hakkuumiehet merkitsivät ohjeiden mukaan muistiin kaiken, mitä he söivät ja joivat. Kirjanpito aloitettiin koepäivää edeltäneenä iltapäivänä.

21. Koehenkilöt

Koehenkilöiden ominaisuudet ilmenevät taulukosta 1. Maksimaalinen hapenkulutus määritettiin Kuopion korkeakoulun fysiologian laitoksen kuntotutkimuslaboratoriossa submaksimaalisella testillä käyttäen juoksumattoergonomiaa. Hapenkulutus arvioitiin epäsuoralla menetelmällä. Åstrandin indeksillä mitattuna koehenkilöiden fyysinen suorituskyky on iän mukaan suhteutettuna hyvin samanlainen.

Kyselylomakkeessa koehenkilöt ilmoittivat omasta mielestään olevansa terveitä. Vain koehenkilö 5 valitti vatsa- ja selkävaivoja. Koehenkilöllä 1 esiintyi päänsärkyä. Kaikkien koehenkilöiden lepoverenpaine oli normaali. Koehenkilöt 2, 3 ja 7 eivät harrastaneet vapaa-aikanaan

Taulukko 1. Koehenkilöiden ominaisuuksia.
Table 1. Data on the test subjects.

Koehenkilö *Subject*	Ikä, v *Age, years*	Pituus, cm *Height*	Paino, kg *Weight*	Maksimaalinen hapenkulutus, l/min *Maksimal oxygen uptake*	Työskentely hakkuumiehenä, vuotta *Working experience years*
1	28	174	64	3,0	8
2	43	176	72	3,0	23
3	27	181	83	3,8	10
4	26	184	78	4,2	6
5	48	174	52	2,5	28
6	38	180	78	3,4	6+4
7	29	175	81	3,7	2
$\bar{x}$	34	178	73	3,2	12
s	8	4	10	0,7	9

$\bar{x}$ = keskiarvo — *mean*
s = keskihajonta — *standard deviation*

minkäänlaista liikuntaa, lopuista pari pelasi jalka- tai lentopalloa kerran viikossa. Vanhin koehenkilö voimisteli kotonaan. Koehenkilö 6 mm. voimisteli, nosti painoja ja hiihti vapaa-aikanaan. Kaikki koehenkilöt polttivat 10—25 savuketta päivässä. Koehenkilöä 7 lukuunottamatta kaikki muut ovat työskennelleet metsäalalla useita vuosia. Työhönsä he olivat jokseenkin tyytyväisiä.

22. Menetelmät

Verinäytteiden otto, punnitus ja verenpaineen mittaus suoritettiin ennen töiden aloittamista aamulla, keskipäivällä ennen ruokailua ja välittömästi työpäivän päätyttyä. Kaikki virtsa kerättiin talteen aina koehenkilöiden käydessä tarpeillaan. Lisäksi koehenkilöt keräsivät ohjeiden mukaan ilta- ja yövirtsansa talteen.

Natrium ja kalium määritettiin liekkifotometrilla. Seerumin vapaat rasvahapot määritettiin Mosingerin (1965) menetelmällä ja 11-hydroksikortikosteroidit Spencer-Pectin (1965) fluorimetrisellä menetelmällä. Kortisolin lisäksi määritetyksi tulee myös kortikosteroni. Virtsan 17-ketogeeniset steroidit määritettiin Norymberskin ym. (1953), Applebyn ym. (1955) ja Jørgensenin (1957) kehittämillä menetelmillä. Katekolamiinien määritykset virtsasta tehtiin Eulerin ja Lishajkon (1961) fluorimetrisellä menetelmällä.

Taulukko 2. Keskeisten työvaikeustekijöiden työntekijäkohtainen päivittäinen vaihtelu.
Table 2. Daily variation of the main work difficulty factors for each worker.

I Työpäivä — *I Working day*

Koehenkilö *Subject*	Lämpötila *Temperature*	Rungon tilavuus, dm³ *Size of stem* x̄	s	Σ m³	Oksaisuusluokka *Branchiness class* x̄	s	Keskim. kasausmatka, m *Average bunching distance* x̄	s	Σ Keskim. kasausmatka, m Σ *Average bunching distance*	Siirtymismatka *Moving distance between trees* x̄	s	Σ Siirtymismatka, m Σ *Moving distance between trees*
1	+15°C	85	76	3,23	2,0	0,8	4,9	3,0	191	5,2	3,2	199
2	+14 ... +15°C	75	78	4,52	1,8	0,8	5,4	2,6	321	4,7	2,8	279
3	+13 ... +16°C	63	53	6,87	2,9	0,7	4,8	2,8	519	4,2	3,9	461
4	+12 ... +18°C	69	49	6,02	2,8	0,5	3,9	2,4	341	5,6	4,2	481
5		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	+ 3 ... + 4°C	155	86	11,14	2,0	0,1	2,2	1,4	161	6,2	4,0	448
7	—15 ... —10°C	178	143	10,15	2,1	0,3	1,2	0,7	60	8,4	5,6	278

II Työpäivä — *II Working day*

1	+12 ... +16°C	70	59	7,01	1,8	0,9	5,5	3,2	554	5,2	3,2	524
2	+10 ... +15°C	55	52	5,70	1,6	0,8	4,1	2,2	426	4,4	2,3	453
3	+12 ... +15°C	52	37	5,17	2,4	0,9	4,4	2,7	431	5,7	4,5	567
4	+10 ... +12°C	57	41	6,00	3,1	0,4	3,7	1,8	383	6,6	7,5	682
5	+ 6°C	37	16	5,74	3,2	0,5	5,9	3,4	975	5,5	3,7	872
6	— 1 ... + 5°C	136	103	12,98	2,0	0,1	2,0	1,0	110	9,7	6,0	533
7	—21 ... —19°C	114	89	11,87	2,0	0,1	1,3	0,9	116	6,9	4,1	721

x̄ = keskiarvo — *mean*
s = keskihajonta — *standard deviation*

Sydämen syketaajuus taltioitiin telemetrisesti (Medinik Biotelemetry System) ääninauhalle. Nauhan toiselle kanavalle koodattiin työvaiheet (ks. Valonen 1975). Syketaajuutta nauhoitettiin koko työpäivän ajan. Nauhat tulostettiin Työterveyslaitoksella. Syketaajuus tulostettiin säännöllisesti puolen minuutin välein sekä aina työvaiheen vaihtuessa. Jokaisesta tehdystä rungosta arvioitiin myös keskeiset työvaikeustekijät (taulukko 2).

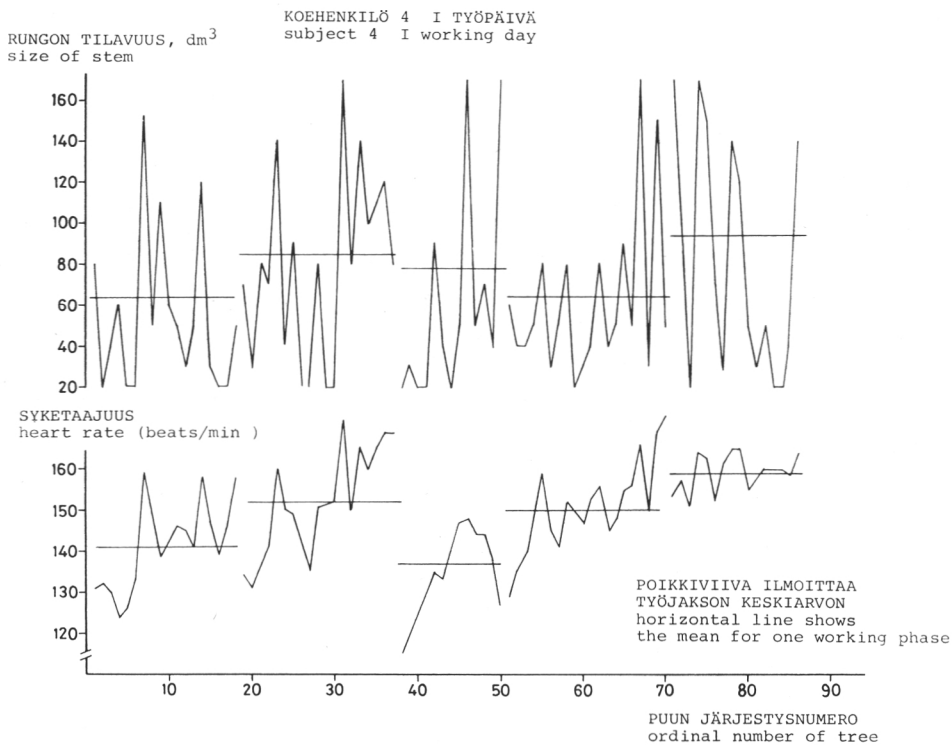
Syketaajuuteen vaikuttavia tekijöitä selitettiin valikoivan regressioanalyysin avulla (Harstela 1975, 1979). Raskaassa ruumiillisessa työssä syketaajuus on työajan ja -määrän monimutkainen funktio, joka ei ole helposti selitettävissä lineaaristen mallien avulla. Selittäjänä käytettiinkin ns. täydellisiä kvadraattisia malleja, joissa käytetään lineaaristen termien lisäksi muuttujina näiden termien neliöitä ja parittain otettuja ristituloja (Häkkinen 1975, Harstela ja Vuorinen 1977).

3. TULOKSET

31. Syketaajuuden päivittäinen vaihtelu

Sykeaineisto analysoitiin koko päivän tietojen lisäksi työjaksoittain. Yhdeksi työjaksoksi valittiin kahden tauon välinen aika. Joissakin tapauksissa jaksoja on yhdistetty. Varsinkin koehenkilöllä 3 oli tapana pitää lyhyitä taukoja vähän ennen huolto- ja lepotaukoa.

Keskeinen syketaajuuden vaihtelua selittävä tekijä on rungon tilavuus ja siihen liittyvät tai siitä johdetut muuttujat. Kuvassa 1 näkyy koehenkilön 4 kasausvaiheen syketaajuuden ja rungon tilavuuden vaihtelu puittain. Suurien puiden tekeminen ja kasaaminen on selvästi nostanut syketaajuutta. Aamupäivästä rasitus-



Kuva 1. Koehenkilön 4 kasausvaiheen syketaajuuden ja rungon tilavuuden vaihtelu puittain.
Fig. 1. Variation of the heart rate in the bunching phase and the stem size of each tree (subject 4).

huiput näkyvät selvemmin kuin iltapäivällä. Iltapäivällä syketaajuus on kohonnut pysyvästi korkeammalle tasolle. Tauot alentavat selvästi syketaajuutta. Työjakson alkupuolella syketaajuus on yleensä keskiarvon alapuolella ja loppupuolella keskiarvon yläpuolella.

Liitteessä 1 on esitetty syketaajuus ja rungon tilavuusluokkien prosentuaalinen jakauma työjaksoittain. Työjakso muodostuu kahden huolto- ja lepotauon välisestä ajasta. Työrupeama kesti yleensä 30—45 minuuttia ja tauko 10—20 minuuttia. Työjaksojen numerointi alkaa aamun ensimmäisestä työrupeamasta. Työjaksot I—III ovat yleensä sijoittuneet aamupäivään ja IV—VI iltapäivään. Liitteestä 1 ilmenee, että korkeiden syketaajuuksien osuus on kasvanut loppupäivästä, yleensä parilla viimeisellä jaksolla. Korkeiden syketaajuuksien osuus on myös toisella työjaksolla yleensä suurempi kuin ensimmäisellä. Mielenkiintoista on sen sijaan kolmannen, yleensä ennen ruokailua olleen työjakson matalien syketaajuuksien suuri osuus. Runkojen tilavuuden muutokset eivät täydellisesti selitä syketaajuuden vaihtelua. Toisena työpäivänä syketaajuudet ovat kaikilla koehenkilöillä sijoittuneet alhaisempiin luokkiin kuin ensimmäisenä päivänä (liite 1).

Koko päivälle lasketut regressiomallit antoivat huonomman selitysasteen kuin työjaksoittaiset mallit, koska taukojen huomioiminen mallissa tuottaa vaikeuksia. Lisäksi näyttää siltä, että eri työvaikeustekijät selittävät syketaajuutta päivän eri ajankohtina (liite 1). Selittävänä muuttujana kaikilla koehenkilöillä on yleensä jokin työpäivän alusta lähtien kumuloituva muuttuja. Useimmiten muuttujana on kumuloituvaa työmäärää edustava kasausmatkan ja rungon tilavuuden tulo. Lisäksi mukana on aina tauosta uudelleen kumuloitumaan alkavia muuttujia, useimmiten rungon tilavuuteen tai kasausmatkaan liittyviä. Näiden muuttujien avulla poistetaan taukojen vaikutusta. Kolmantena ryhmänä ovat rungoittain muuttuvat selittäjät, jotka luonnollisesti tuovat malliin puukohtaisia vaikeustekijöitä. Lisäksi yhdellä koehenkilöllä on mallissa mukana siirtymis- ja kasausnopeutta kuvaavia muuttujia, jotka selittävät työn joutuisuutta.

Työjaksoittain analysointi on selvästi parantanut mallien selitysastetta (liite 1). Ensimmäisen työjakson selitysasteet ovat kuitenkin jääneet varsin alhaisiksi. Keskeiset työvaikeustekijät, rungon tilavuus ja kasausmatka selittävät heikosti syketaajuuden muutoksia. Kaikki rasitus kohottaa tässä vaiheessa syketaajuutta ja elimistö pyrkii vastaamaan työn aiheuttamiin muutoksiin.

Toisen työjakson aikana syketaajuus nousee hiukan korkeammalle tasolle kuin ensimmäisellä jaksolla. Mallin antama selitysaste paranee. Koehenkilöiden selittävien muuttujien yhdistelmät ovat kuitenkin erilaisia samoillakin koehenkilöillä eri päivinä. Selittäjinä on sekä hetkittäisiä työvaikeustekijöitä että kumuloituvia muuttujia. Syketaajuus reagoi työn alkuvaiheessa helpommin rasituksen muutoksiin kuin päivän lopussa, toisaalta kumuloituvat muuttujat merkitsevät jo rasituksen pitkäkestoista luonnetta.

Kolmas jakso on yleensä ollut ruokailua edeltävä työrupeama. Tätä jaksoa ennen koehenkilöt ovat työskennelleet keskimäärin yli puolitoista tuntia pitäen vä-

lissä pari taukoa. Kaikilla työntekijöillä on enemmän alhaisia syketaajuuksia kuin edellisillä jaksoilla. Mallissa siirtymismatkaan liittyvät muuttujat ovat saaneet erikoisesti negatiivisia kertoimia. Varsinkin siirtymisnopeutta kuvaava muuttuja siirtymisaika/siirtymismatka kertoo työtahdin muutoksista. Siirtymismatkan kasvaessa ja siirtymisnopeuden hidastuessa ehtii syketaajuus palautua edellisen puun kasausvaiheen rasituksesta, jolloin hakattavan puun työvaikeustekijät selittävät paremmin kasausvaiheen syketaajuutta.

Ruokailun jälkeisellä neljännellä jaksolla alkaa korkeiden syketaajuusluokkien osuus kasvaa. Rungon tilavuuden ja kasausmatkan kasvaminen kohottavat selvästi sykettä. Suureneminen ei ole lineaarista, vaan lähinnä eksponentiaalista. Poikkeuksena on koehenkilö 7, jolla syketaajuutta selittävät siirtymismatkaan liittyvät muuttujat. Koehenkilö 7 hakkasi puita Leka-menetelmällä. Parilla koehenkilöllä on myös päivän alusta kumuloituvia muuttujia, mitä voitaneen pitää pitkäkestoisen työn vaikutuksien ilmenemisenä syketaajuudessa.

Päivän viimeisillä jaksoilla kasvaa korkeiden syketaajuuksien osuus kaikilla koehenkilöillä. Vaikka rungon tilavuuden kasvu kohottaa mallissa syketaajuutta, eivät muutokset enää ole niin voimakkaita kuin aamupäivästä. Syketaajuudet ovat keskittyneet selvemmin kuin edeltäneillä jaksoilla kahteen luokkaan. Negatiivisia kertoimia ovat saaneet erilaiset siirtymismatkaan liittyvät muuttujat. Siirtymismatkan kasvaminen tai siirtymisnopeuden hidastuminen alentavat syketaajuutta. Vaikutus on kuitenkin riittämätön, koska syketaajuus kohoaa korkeammalle tasolle pitkäkestoisen rasituksen vaikutuksesta. Kumuloituvat muuttujat eivät kuitenkaan ole tulleet malleihin mukaan.

32. Biokemialliset muutokset

Biokemiallisille muuttujille on ominaista suuri yksilöiden välinen vaihtelu. Tuloksia tarkasteltiin aluksi kaikkien näytteiden keskiarvojen ja -hajontojen perusteella, koska ne antavat selvimmän kuvan muutoksen suunnasta (kuvat 2 ja 3). Lisäksi tarkastellaan pitoisuudessa ja erityksessä tapahtuneita muutoksia eri ajankohtien välillä (liite 2 ja 3). Yksilöiden väliset tasoerot muuttujien pitoisuuksissa veressä samoin kuin virtsan erittymisessäkin peittävät helposti alleen muutosten suunnan arvioinnin ja koehenkilöiden erilaisen reagoinnin.

Veren glukoosi ja seerumin vapaat rasvahapot

Aamulla hakkuumiesten veren glukoosi on päivän alhaisimmalla tasolla, pitoisuusarvot ovat kuitenkin aivan normaaleja (kuva 2). Keskipäivään mennessä glukoosipitoisuus kohoaa hieman. Keskiarvoa kohottaa erikoisesti koehenkilö 1, jonka veren glukoosipitoisuus on kohonnut huomattavasti. Muilla koehenkilöillä

muutos on ollut vähäisempi, ja joillakin pitoisuus on hiukan laskenut. Iltapäivällä veren glukoosin keskiarvo kohoaa edelleen, kuitenkin siten, että koehenkilöillä, joilla nousua on tapahtunut, on se ollut huomattavaa. Parilla koehenkilöllä pitoisuus on sen sijaan selvästi laskenut, kahdella taso on pysynyt lähes samana (liite 2).

Toinen energiatalouteen liittyvä muuttuja on seerumin vapaat rasvahapot. Aamusta keskipäivään mennessä on pitoisuudessa tapahtunut selvä kohoaminen kaikilla koehenkilöillä. Kohoaminen on jälleen ollut voimakasta koehenkilöllä 1 (liite 2). Iltapäivällä seerumin vapaiden rasvahappojen pitoisuus alenee hieman, huomattavimmin niillä koehenkilöillä, joiden veren glukoosipitoisuus on kohonnut voimakkaasti.

Hematokriitti ja veren elektrolyytit

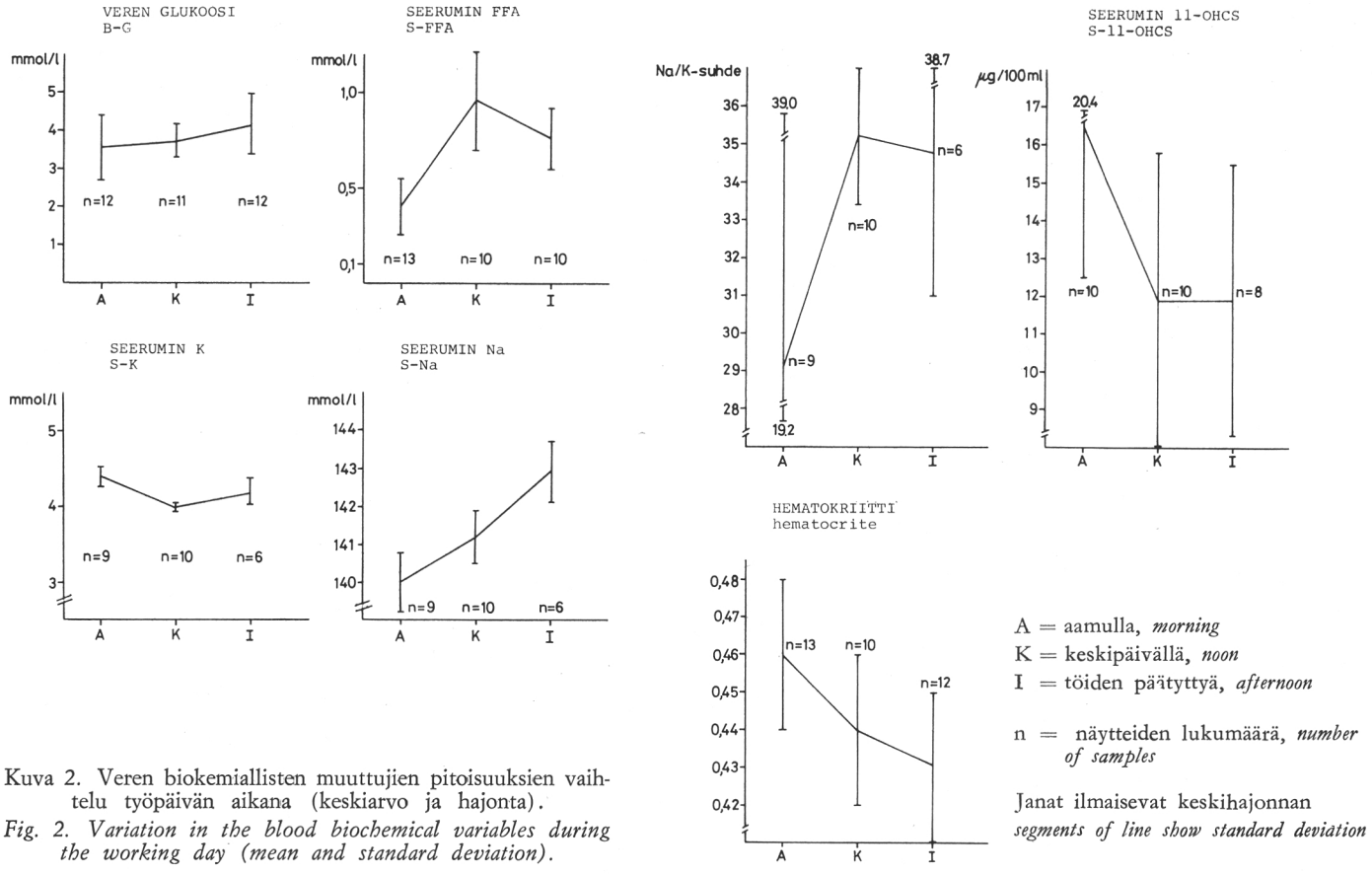
Veren hematokriitti laski koehenkilöillä koko päivän ajan (kuva 2). Seerumin elektrolyyteistä kaliumin pitoisuus aleni keskipäivään mennessä, sen jälkeen muutokset olivat pieniä. Natriumpitoisuus sen sijaan kohosi keskipäivää kohti, poikkeuksena koehenkilö 7 (liite 2).

Virtsamäärä ja virtsan elektrolyytit

Virtsan eritys on ollut alhaisimmillaan yön aikana ja kohoaa aamutunteina noin kaksinkertaiseksi (kuva 3). Aamupäivän aikana eritys on pudonnut lähes yöerityksen tasolle. Iltapäivällä eritys alkaa jälleen lisääntyä. Virtsan elektrolyyteistä natriumin eritys on pysynyt alhaisella tasolla aina iltapäivään saakka. Koehenkilöiden välinen vaihtelu on kuitenkin ollut suuri: toisilla eritys on lisääntynyt jo aamupäivän tunteina (liite 3). Kaliumin eritys on ollut koehenkilöillä hyvin samansuuntainen: eritys on lisääntynyt koko työpäivän ajan.

Veren ja virtsan katekolamiinit ja steroidit

11-hydroksisteroidien pitoisuudessa seerumissa (kuva 2) sekä katekolamiinien ja 17-ketogeenisten steroidien erityksessä virtsaan (kuva 3) lienee suurin koehenkilöiden välinen vaihtelu, mutta selvät suuntalinjat on kuitenkin havaittavissa. Seerumin 11-hydroksisteroidi-arvot noudattavat havaittua vuorokausirytmiä. Arvot ovat korkeimmat aamulla, minkä jälkeen keski- ja iltapäivällä pitoisuus pysyy lähes samansuuruisena. Poikkeuksena ovat koehenkilöt 3, 4 ja 5 (liite 2). Koehenkilöllä 3 11-OHCS-pitoisuus on pysynyt samalla tasolla päivän eri mittausajankohtina. Koehenkilöllä 4 on tapahtunut iltapäivällä huomattava nousu keskipäivän pitoisuudesta, koehenkilöllä 5 on sen sijaan keskipäivän pitoisuus ollut aamuista korkeampi toisella mittauskerralla.



A = aamulla, *morning*
K = keskipäivällä, *noon*
I = töiden päätyttyä, *afternoon*

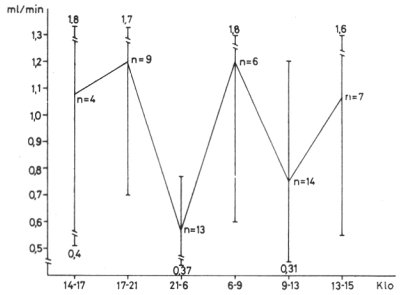
n = näytteiden lukumäärä, *number of samples*

Janat ilmaisevat keskihajonnan
segments of line show standard deviation

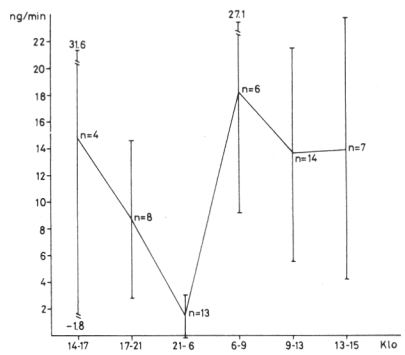
Kuva 2. Veren biokemiallisten muuttujien pitoisuuksien vaihtelu työpäivän aikana (keskiarvo ja hajonta).

Fig. 2. Variation in the blood biochemical variables during the working day (mean and standard deviation).

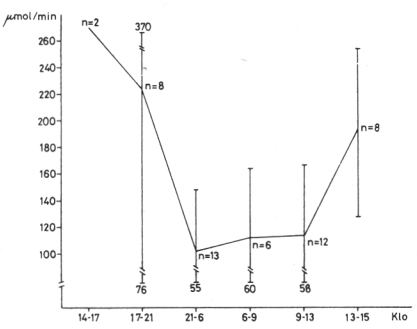
VIRTSAN ERITYS
urine flow



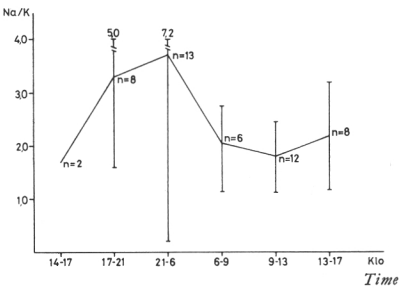
ADRENALIININ ERITYS VIRTSAAN
excretion of adrenaline



NATRIUMIN ERITYS VIRTSAAN
excretion of sodium



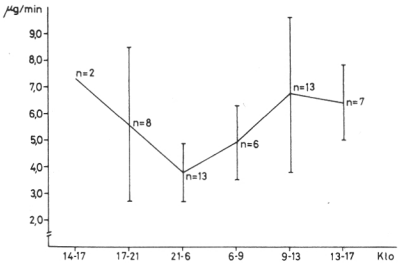
Na/K-SUHTEEN MUUTOKSET
changes in urinary Na/K



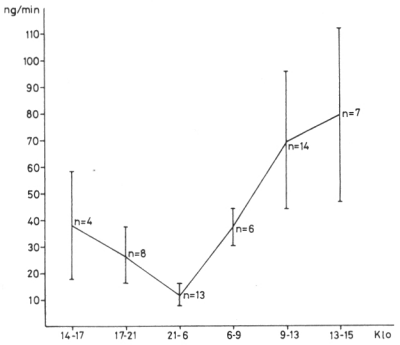
n = NÄYTTEIDEN LUKUMÄRÄ
number of samples

JANAT ILMAISEVAT KESKIHAJONNAN
segments of line show standard deviation

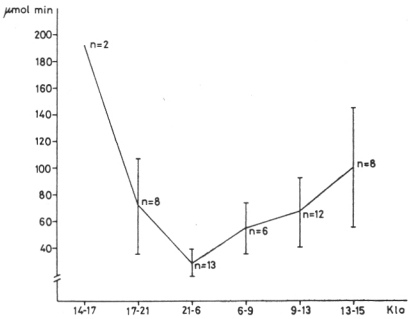
17-KGS ERITYS VIRTSAAN
excretion of 17-kgs



NORADRENALIININ ERITYS VIRTSAAN
excretion of noradrenaline



KALIUMIN ERITYS VIRTSAAN
excretion of potassium



Kuva 3. Virtsaan erittyneiden biokemiallisten muuttujien erityksen vaihtelu (keskiarvo ja hajonta).

Fig. 3. Variation in the urinary excretion of biochemical variables (mean and standard deviation).

Virtsaan erittyneiden 17-ketogeenisten steroidien määrä on joko huonosti sidoksissa lisämunuaisen kuorikerroksen hormonien pitoisuuteen veressä tai veren korkeat arvot heijastuvat virtsassa vasta muutaman tunnin viiveen jälkeen (kuva 3). Aamulla ja aamupäivällä 17-ketogeenisten steroidien eritys kohoaa kaikilla koehenkilöillä. Iltapäivällä erityksen lisäys on vähäisempää tai eritys jopa pienenee (koehenkilöt 6 ja 7).

Adrenaliinin ja noradrenaliinin eritys ei ole samansuuntainen päivän eri ajankohtina. Adrenaliinin eritys on suurimmillaan aamulla, kun sen sijaan noradrenaliinin eritys kohoaa päivän mittaan (kuva 3). Molempien erityksessä on kuitenkin suurta yksilöllistä vaihtelua ja ainostaan yöllä tapahtuva eritys on melko samansuuruista eri henkilöillä. Yöeritys putoaa kaikilla hyvin alhaiselle mutta normaalille tasolle. Adrenaliinin eritys on kohonnut aamupäivällä, sen jälkeen eritys on yleensä vähentynyt. Selvän poikkeuksen tekee koehenkilö 3 (liite 3).

Noradrenaliinin erityksen voimakkuus liittyy ainakin osittain fyysisen rasituksen voimakkuuteen. Kaikilla koehenkilöillä eritys on kasvanut aamulla ja aamupäivällä. Iltapäivän eritys on kohonnut niillä koehenkilöillä, joilla eritys on ollut vähäisempää aamupäivän aikana. Sen sijaan ne koehenkilöt, jotka ovat erittäneet aamupäivällä voimakkaasti noradrenaliinia virtsaan, ovat vähentäneet eritystä iltapäivällä.

Koehenkilöiden kahden eri päivän saman ajankohdan muuttujien pitoisuutta veressä ja erittymistä virtsaan on tarkasteltu Wilcoxin järjestystestin avulla. Adrenaliinin eritys virtsaan poikkesi tilastollisesti jokseenkin merkitsevästi ($p<0,05$) ja 17-ketogeenisten steroidien suuntaa-antavasti ($p<0,1$).

33. Ruoasta saatu energia ja nesteen nauttiminen

Nautitun ruoan ja nesteen määrä ilmenee taulukosta 3. Tuloksia on syytä tarkastella vain suuntaa-antavina, koska ne perustuvat arvioon ruoan laadusta ja määrästä. Ruoan ja nesteen nauttiminen on painottunut iltapäivään ja iltaan. Aamulla nautitun ruoan energiasisältö on lähes kaikilla alhainen.

Painon muutokset

Muutamilla koehenkilöillä seurattiin painon muutoksia. Koehenkilö 3 pudotti painoaan seuraavasti:

I päivä	8.00—10.45	600 g	3,4 g/min
	10.45—14.45	1 950 g	8,1 g/min
II päivä	8.00—14.20	2 500 g	6,6 g/min

Koehenkilö 4:

I päivä	8.10—11.20	700 g	3,2 g/min
	11.20—14.50	1 680 g	8,0 g/min
II päivä	7.55—14.40	1 650 g	4,1 g/min

Taulukko 3. Koehenkilöiden ruuan ja nesteen nauttiminen työssä ja vapaa-aikana.
Table 3. Food and fluid intake of the subjects during work and in their leisure time.

NAUTITTU RAVINTO (kJ)
Energy intake

Koehenkilö *Subject*	1		2		3		4		5		6		7	
Koepäivä *Test day*	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Ajankohta — *Time*														
Ateriointi kotona — *Eating at home*														
Iltapäivä — *Afternoon*	3 150*	2 610*	3 150*	5 000*	6 145*	5 255	5 310*	3 785*	4 105*	3 930*	5 360*	6 590*	4 570*	5 795*
Ilta — *Evening*	600	2 830	1 035	—	2 730	2 605	340	65	1 020	420	310	410	3 720	760
Aamu — *Morning*	195	320	505	3 100*	1 840	295	3 785	3 455	1 930*	1 625*	1 920	2 370	1 600*	3 680
Ateriointi työpaikalla — *Eating at work place*														
Aamupäivä — *Forenoon* ..	—	440	1 515	760	230	65	—	—	—	—	450	530	700	—
Keskipäivä — *Noon*	—	3 640*	—	3 410	3 250	1 730	2 250	2 250	2 950*	3 790	3 500*	3 020	3 750*	4 860*
Iltapäivä — *Afternoon*	—	340	—	160	1 085	1 730	2 250	2 250	570	350	620	1 520	1 065	965
Yhteensä kJ — *Together*		10 180		12 430	15 280	11 680	13 935	11 805	10 575	10 115	12 160	14 440	15 405	16 060

*) Nautittu lämmintä ruokaa.
Hot meal.

JUOTU NESTEMÄÄRÄ (dl, ei sisällä ruuan nestettä)
Fluid intake excluding fluid in food

Ajankohta — *Time*														
Kotona nautittu — *Fluid intake at home*														
Iltapäivä — *Afternoon*	3	2	6	5	13	9	10	6	2,5	4,5	6	8	4	6
Ilta — *Evening*	6	11	2	2,5	10	5	2	2	1,5	3	2	2	7	6
Aamu — *Morning*	4	3	3	2	8,5	4	4	6	6	3	2	6	2	2
Työpaikalla nautittu — *Fluid intake at work place*														
Aamupäivä — *Forenoon* ..	—	2	6	2,5	4	1	5	—	1	4	2	2	2	—
Keskipäivä — *Noon*	—	4	—	5,5	9	5,5	3,5	4	2	4	3	3	5	5
Iltapäivä — *Afternoon*	—	2	—	2,5	7,5	5,5	6,5	7	5,5	3	2	2	4	2
Yhteensä — *Together*		24		20	52	30	31	25	18,5	21,5	17	23	24	21

4. TULOSTEN TARKASTELU

Tulokset vahvistavat aikaisempia hakkuutyön kuormittavuudesta tehtyjä johtopäätöksiä (Harstela 1975, 1979). Hakkuumiehet työskentelevät korkealla kuormitusasteella. Työntekijät pyrkivät kuitenkin säätelemään kuormittumistaan päivän mittaan muuntelemalla työtahtiaan. Kuormittumisessa on eroja, jotka johtuvat osin yksilöiden välisistä eroista. Myöskään ei ole syytä unohtaa, että ihminen on kokonaisuus, jonka reaktioihin ja kuormittumiseen vaikuttavat myös psyykkiset ja sosiaaliset tekijät.

Arvioitaessa hakkuutyön kuormittavuutta syketaajuuden perusteella on muistettava, että hakkuutyöhön sisältyy sekä rasitushuippuja että palautumisjaksoja. Syketaajuus ei koskaan asetu tietylle tasolle, vaan sen päivittäinen vaihtelu riippuu osittain erilaisten kuormitusjaksojen keskinäisestä jakautumisesta ja kestosta. Lisäksi on huomioitava, että työpäivän alkua hallitsee sydämen ja verenkiertoelimistön sopeutuminen työnteon vaatimuksiin. Iltapäivällä syketaajuus kohoaa pysyvästi korkeammalle tasolle kuin aamupäivällä, mikä johtuu rasituksen pitkäkestoisuudesta. Iltapäivällä vaihtelut työn rasittavuudessa eivät myöskään heijastu syketaajuuteen yhtä voimakkaina kuin aamupäivällä.

Syketaajuuden käyttäytyminen päivän mittaan hyvin samalla tavalla kaikilla koehenkilöillä selittynee sillä, että koehenkilöt saivat itse määrätä työtahtinsa ja tauotuksen. Hakkuumiehet ovat työskennelleet oman totutun rytminsä mukaan. Kaikilla koehenkilöillä on syketaajuus toisena päivänä hieman alhaisemmalla tasolla kuin ensimmäisenä. Ilmiö heijastanee sitä, että huolimatta työn raskaudesta ja syketaajuuden korkeasta tasosta psyykkisillä tekijöillä, esimerkiksi tilanteen outoudella, on vaikutusta syketaajuuteen.

Hakkuumiesten työpäivää voidaan kuvata vilkkaana energian kulutuksen jaksona ja vapaa-aikaa energiavarastojen täydentämisen jaksona. Tutkituilla hakkuumiehillä energian nauttiminen ja kuluttaminen sijoittuivat liiaksi eri ajankohtiin. Hakkuumiesten olisi lisättävä ateriointiaan aamulla, koska he nyt nauttivat aamulla ja aamupäivällä työssä vähän energiaa. Suurin energiansaanti ajoittui töiden jälkeiseen aikaan. Elimistö joutuu siten käyttämään työn aikana aikaisemmin varastoimaansa energiaa. Keskipäivän ateriointi on selvästi parantanut iltapäivän energiansaantia, joten työmaalla tapahtuvaa ruokailua tulisi edelleen kehittää.

Adrenaliinin samoin kuin noradrenaliinin erityksen lisääntyminen on selvä merkki sympaattisen hermoston aktiivisuuden kasvusta, mikä sopeuttaa elimistöä voimakkaaseen fyysiseen rasitukseen. Katekolamiinien lisääntynyt eritys kiihdyttää

energian vapautumista varastoista. Varsinkin noradrenaliinin korkea pitoisuus veressä, mitä erittyminen virtsaan heijastaa, kiihdyttää vapaiden rasvahappojen mobilisaatiota ja käyttöä (Åstrand ja Rodahl 1977). Yleensä koehenkilöillä lisääntyivät sekä seerumin rasvapitoisuus että noradrenaliinin eritys aamupäivällä. Noradrenaliinin eritys on voimakkaammin sidoksissa työn kuormittavuuteen kuin adrenaliinin. Adrenaliinin eritys lisääntyy selvästi vasta, kun rasitus on lähellä maksimaalista aerobista tehoa. Noradrenaliinin eritys kohoaa moninkertaiseksi jo alhaisimmalla rasituksella, varsinkin jos rasitus kestää useita tunteja (Äikäs 1977). Aineenvaihdunnallisista tekijöistä esimerkiksi glukoosin puute lisää adrenaliinin eritystä (Galbo ym. 1977). Katekolamiinien kasvanut eritys rasituksessa vähentää insuliinin eritystä ja kiihdyttää glukagonin eritystä (Young ja Landsberg 1977). Insuliinin alentunut pitoisuus veressä ei kuitenkaan vähennä lihaksien kykyä käyttää veren glukoosia energianlähteenään (Wahren 1977). Vaikka monet tekijät vaikuttavat katekolamiinien erityksen, lienevät muutokset katekolamiinien erityksessä raskaassa työssä sidoksissa energiatalouden muuttujiin ja työn kuormittavuuden vaihteluun.

Hakkuumiesten lisämunuaisen kuorikerroksen glukokortikoidien eritys noudattaa lähes normaalia vuorokausirytmiä, jolloin korkeimmat arvot löytyvät seerumista aamulla (Krieger ym. 1971). Yleensä kortisolin eritys lisääntyy fyysisessä rasituksessa, mikä edistää glukoosin tuottoa glukoneogeneesin avulla (Åstrand ja Rodahl 1977). Virtsaan erittyvät 17-ketogeeniset steroidit heijastanevat kortisolin eritystä pitemmältä aikajaksolta. Kortisolin seerumin pitoisuuden ja virtsaan erittymisen välillä lienee parin tunnin viive, koska steroidien erittyminen virtsaan lisääntyi keskipäivällä.

Hakkuumiesten virtsaneritys vähentyi selvästi. Varsinkin aamupäivällä on eritys pudonnut lähes yöerityksen tasolle. Vähentyneeseen virtsaneritykseen liittyy myös munuaisten alentunut kyky konsentroida virtsaa, mikä lienee seurausta pienentyneestä munuaisten verenkierrosta (Refsum ja Strømme 1977). Natriumin eritys virtsaan vähenee erityisesti, kaliumin eritys sen sijaan lisääntyy. Aldosteronin lisääntynyt eritys aiheuttanee pitkäkestoisessa rasituksessa natriumin lisääntyneen tubulaarisen reabsorption ja kaliumin lisääntyneen erityksen (Castenfors 1977). Hakkuumiehillä natriumin eritys on pysynyt hyvin alhaisella tasolla aina iltapäivään saakka. Munuaisten toiminta palautuu entiselleen melko pian rasituksen päätyttyä, mikä näkyy lisääntyneenä virtsan erityksenä sekä natriumin että kaliumin erityksen lisääntymisenä illalla.

Toistuvan pitkäkestoisen rasituksen vaikutukset elektrolyyttien pitoisuuksien muutoksiin elimistön eri osien välillä eivät ole täysin selvillä. Costillin (1977) mukaan hikoilun pääasialliset elektrolyytit ovat solun ulkoisesta tilasta peräisin olevat natrium ja kloridi. Knochel (1977) pitää kaliumin erittymistä hikeen huomattavana. Hypokaleemiseen tilaan saattaa osaltaan johtaa voimakas hiilihydraattien nauttiminen, koska glukoosin kuljetukseen plasmasta maksa- ja lihassoluihin tarvitaan kaliumionia (Viru ja Kröger 1971). Aldosteronin

lisääntynyt eritys edistää kaliumin siirtymistä plasmasta takaisin soluihin ja saattaa olla vaikuttamassa hypokaleemisen tilan syntyyn (Guyton 1976). Harstela ja Vuorinen (1977) ovat osoittaneet hakkuumiehillä alhaisia seerumin kaliumpitoisuuksia. Tässä tutkimuksessa metsureiden seerumin kaliumpitoisuus aleni selvästi. Avoimeksi kysymykseksi jää, ovatko alhaiset, lähellä hypokalemiaa olevat kaliumpitoisuudet vaarallisia terveydelle vai pystyykö elimistö korjaamaan tilanteen riittävän nopeasti. Elimistö nimittäin reagoi elektrolyyttien saatavuuteen ravinnosta. Ravinnon alhainen kaliumpitoisuus on vähentänyt virtsan erittymistä samoin natriumin ja kaliumin erittymistä virtsaan rasituksessa huomattavammin kuin ravinnon korkea kaliumpitoisuus (Costill 1977). Näyttääkin siltä, että työskentely kuumassa ilmassa saattaa aiheuttaa hypokaleemisen tilan, mutta viileässä ilmassa vaara ei ole niin suuri. Elimistön alhainen kaliumpitoisuus heikentää esimerkiksi glykogeenin synteesiä (Knochel 1977) ja vaikuttaa sydänlihaksen solujen toimintaan (Christie 1975).

Saadut tulokset on kerätty aikana, jolloin työskentelyolosuhteet olivat melko hyvät. Lunta ei ollut eikä ilman lämpötila ollut haitallisen korkea tai alhainen. Tuloksia on syytä tarkastella näihin olosuhteisiin suhteutettuna, sillä lumi lisää työvaiheista erikoisesti siirtymävaiheen rasittavuutta (Harstela 1979). Näissä tuloksissa siirtymävaiheen pituuden lisääntyminen ainakin työpäivän loppupuoliskolla on alentanut syketaajuutta. Harvennushakkuissa olisikin lumettomana aikana syytä lisätä metsureiden suorittamaa puiden leimausta, koska se oikein toteutettuna lisää työhön fyysisen rasittavuuden kannalta helpompia työjaksoja. Lisäksi kun suunnittelu vaatii kevyttä fyysistä aktiivisuutta, on tällä kuormittumisen kannalta edullisempia vaikutuksia kuin tavallisella lepotauolla. Nyt lepotauot ja työjaksot olivat liian pitkiä. Moottorisahan tankkauksien välisellä työjaksolla tulisi pitää vähintään pari alle viiden minuutin taukoa huoltotauon lisäksi. Näinkin lyhyet tauot pudottavat syketaajuutta keskimäärin kymmenen yksikköä alemmalle tasolle.

KIRJALLISUUS

APPLEBY, J. et al. 1955. Biochem. J. 60: 453.

CASTENFORS, J. 1977. Renal function during prolonged exercise. Ann. N.Y. Acad. Sci. 301: 151—159.

COSTILL, D. 1977. Sweating: Its composition and effects on body fluids. Ann. N.Y. Acad. Sci. 301: 160—174.

CHRISTIE, M. 1975. The psychosocial environment and precursos of disease pp. 234—257 in Venables P. & Christie, M. (eds) Research in Psychophysiology 444. London. John Wiley & Sons.

EULER von, U. S. & LISHAJKO, F. 1961. Improved technique for the fluorimetric estimation of catecholamines. Acta Physiol. Scand. 51: 348—356.

FRANKENHAEUSER, M. 1971. Behaviour and circulating catecholamines. Brain Research 31: 241—262.

— 1975. Sympathetic-Adrenomedullary activity, behaviour and the psychosocial environment. pp 71—94 in Venables, P. & Christie, M. (eds). 1975. Research in Psychophysiology 444. London. John Wiley & Sons.

GALBO, H., RICHTER, E. A., HILSTED, J., HOLST, J. J., CHRISTENSEN, N. J. & HENRIKSSON, J. 1977. Hormonal regulation during prolonged exercise. Ann. N.Y. Acad. Sci. 301: 72—80.

GUYTON, A. 1976. Textbook of Medical Physiology. 1194. Philadelphia W.B. Saunders Company.

HARSTELA, P. 1975. Työajan menekkiin ja työntekijäin kuormittumiseen vaikuttavat tekijät eräissä metsätyömenetelmissä. Summary: Factors affecting the consumption of working time and the strain on the worker in some forest work methods. Commun. Inst. For. Fenn. 87.2: 1—130.

— 1979. Puunkorjuun ergonomia. 151. Suonenjoki.

— , JÄRVINEN, J., TERVO, L. & AHOLAINEN, R. 1977. Tutkimus eräistä harvennushakkuumenetelmistä. Summary: The study of some short wood methods of cutting in thinnings. Folia For. 310: 1—29.

— & VUORINEN, H. 1977. Fatigue at cutting work. Seloste: Tekomiehen väsyminen. Commun. Inst. For. Fenn. 93.2: 1—20.

HYVÄRINEN, J. 1975. Säätelyjärjestelmien osuus suorituskyvyssä. Suomen Lääkärilehti. Supl. IA: 25—33.

HÄKKINEN, R. 1975. Regressioanalyysikurssi. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.

JØRGENSEN, M. 1957, Acta Endocr. 26: 424.

KLEN, T. 1974. Kuitupuupöllien painot ja enimmäispainosuositukset. Summary in English. Työterveyslaitoksen tutkimuksia 118: 1—21.

KNOCHEL, J. 1977. Potassium deficiency during training in the heat. Ann. N.Y. Acad. Sci. 301: 175—182.

KRIEGER, D. T., ALLEN, W., RIZZO, F. & KRIEGER, H. P. 1971. Characterization of the normal temporal pattern of plasma corticosteroid levels. J. Clin. Endocrinol. Metab. 32: 266—284.

MOSINGER, T. 1965. J. Lipid. Res. 6: 157.
NORYMBERSKI, J. et al. 1953. Lancet I: 1276.
REFSUM, H. E. & STRØMME, S. B. 1977. Renal osmal clearance during prolonged heavy exercise. Scand. J. Clin. Lab. Invest. 38: 19—22.
ROWELL, L. 1974. Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. Physiol. Rev. 54 (1): 75—159.
SMITH, E., GUYTON, A., MANNING, D. & WHITE, R. 1976. Integrated mechanisms of cardiovascular responce and control during exercise in the normal human. Progress in Cardiovascular Diseases 18 (6): 421—443.
SPENCER-PECTIN, J. et al. 1965. J. Endocr. 31: 235.
VALONEN, P. 1975. Tekomiehen fyysinen kuormitus kehittyneissä työvaltaisissa kuitupuun tekomenetelmissä. Summary: The physical strain on the logger in advanced labour intensive pulpwood preparation methods. Folia For. 243: 1—31.
VIRU, A. & KRÖGER, P. 1971. Metabolic processes and adrenocortical activity during marathon races. Int. Z. Angen. Physiol. 29: 173—183.
VUORI, I. (toim.) 1976. Fyysisen kunnon mittaaminen. 164. Helsinki. Suomen Kuntourheiluliitto.
WAHREN, J. 1977. Glucose turnover during exercise in man. Ann. N.Y. Acad. Sci. 301: 45—55.
YOUNG, J. B. & LANDBERG, L. 1977. Catecholamines and intermediary metabolism. Clin. Endocrinol. Metab. 6 (3): 599—631.
ÅSTRAND, P.-O. & RODAHL, K. 1977. Textbook of work physiology. 681. New York. McGraw-Hill Book Company.
ÄIKÄS, T. 1977. Katekolaminerna som mått på organismens belastning. Nat. Kand. — Uppsats i Fysiologisk Zoologi 23 s. Helsingfors Universitet.

SUMMARY

The objective of the study was to investigate the changes in worker's homeostasis changed by short wood cutting. The heart rate of one worker was measured telemetrically throughout the day for two days. The blood concentrations of glucose, free fatty acids, potassium, sodium and 11-hydrocorticosteroids were measured three times daily, in the morning before starting work, before the meal break and at the end of the working day. The urinary excretion of catecholamines, sodium, potassium and 17-ketogenic steroids was followed during the working day and leisure time. Variables explaining the heart rate changes were studied by regression analysis.

The heart rate increased during the first and second work phases (= working time between two pauses), slowed a little before the meal break and rose again in the afternoon. An increase in heart rate at the beginning of the working day is combined with the general adaptation reaction caused by strong physical loading. The activity of the sympatho-adrenal system also increases. The descending phase before the meal break may be a first sign of fatigue. In the afternoon the meal and the prolonged loading increases the heart rate. In the forenoon the heart reacts better to changes in the work load, and the effects of the pauses can be seen more clearly than in the afternoon. When we tried with regression analysis to find variables explaining the heart rate during the whole day, the degrees of explanation were low because it was difficult to allow for the effects of the pauses in the models. The degree of explanation improved if the results of the heart rate were analysed for one work phase and when cumulative variables were used which indicated the physiological status of the workers.

The loggers took in about 40 per cent of their daily energy during their time at work. Thus they do not receive a sufficient energy intake in the morning before work and during work. Hence, they have to use stored energy to be able to perform hard physical work.

Particularly before noon, the secretion of hormones increased, stimulating the breakdown and mobilisation of energy reserves. Of the catecholamines, the adrenaline concentration was usually at its highest during the morning hours, while the excretion of noradrenaline was highest at midday and with some workers also in the afternoon. The secretion of adrenal glucocorticoids followed the diurnal rhythm, with a few exceptions. The highest serum concentrations were found in the morning and in urine after about two hours at noon and in the afternoon. The blood glucose level generally showed no big changes; it was lowest in the morning. The serum concentration on free fatty acids increased clearly at noon an decreased a little in the afternoon. The urinary excretion of potassium and sodium was lowest before midday and then increased steadily.

LIITTEET

APPENDICES

MALLISSA KÄYTETYT SELITTÄVÄT MUUTTUJAT:
INDEPENDENT VARIABLES USED IN THE MODEL:

x_2 = Siirtymisaika, cmin
Moving time between trees, cmin

x_3 = Kasausaika, cmin
Bunching time, cmin

x_6 = $d_{1,3}$, cm

x_7 = Pöllien lukumäärä
Number of bolts

x_8 = Rungon tilavuus dm^3
Size of stem, dm^3

x_9 = Oksaisuusluokka
Branchiness class

x_{10} = Siirtymismatka, m
Moving distance between trees, m

x_{11} = Keskimääräinen kasausmatka, m. Koehenkilöllä 7, dm
Average bunching distance, m. With subject 7, dm

x_{12} = Lämpötila °K
Temperature °K

x_{13} = Puun järjestysnumero tauon jälkeen
Ordinal number of tree after pause

x_{14} = Σ Rungon til. dm^3 × keskimääräinen kasausmatka
Σ Size of stem dm^3 × average bunching distance

x_{15} = Σ (Rungon til. dm^3)^2 taukojen välillä
Σ (Size of stem dm^3)^2 between pauses

x_{16} = Σ (Rungon til. dm^3 × keskimääräinen kasausmatka)^2
Σ (Size of stem dm^3 × average bunching distance)^2

x_{17} = Σ (Siirtymismatka)^2
Σ (Moving distance between trees)^2

x_{18} = Σ Keskimääräinen kasausmatka
Σ Average bunching distance

x_{19} = Σ (Keskimääräinen kasausmatka)^2
Σ (Average bunching distance)^2

x_{21} = Σ (Rungon tilavuus dm^3)^2
Σ (Size of stem, dm^3)^2

x_{22} = Σ Keskimääräinen kasausmatka taukojen välillä
Σ Average bunching distance between pauses

x_{23} = Σ (Keskimääräinen kasausmatka)^2 taukojen välillä
Σ (Average bunching distance)^2 between pauses

x_{24} = Rungon til. dm^3 × keskimääräinen kasausmatka
Size of stem, dm^3 × average bunching distance

x_{25} = (Rungon til. dm^3)^2
(Size of stem dm^3)^2

x_{26} = (Keskimääräinen kasausmatka)^2
(Average bunching distance)^2

x_{27} = (Siirtymismatka)^2
(Moving distance between trees)^2

x_{28} = Pöllien lukumäärä × keskimääräinen kasausmatka
Number of bolts × average bunching distance

x_{29} = Σ Pöllien lukumäärä × keskimääräinen kasausmatka
Σ Number of bolts × average bunching distance

x_{30} = Σ Rungon til. dm^3 taukojen välillä
Σ Size of stem, dm^3 between pauses

x_{31} = Σ Siirtymismatka
Σ Moving distance between trees

x_{32} = Kasausaika/keskimääräinen kasausmatka
Bunching time/average bunching distance

x_{33} = Siirtymisaika/siirtymismatka
Moving time/moving distance between trees

x_{34} = Σ Siirtymismatka taukojen välillä
Σ Moving distance between trees between pauses

x_{35} = Σ (Siirtymismatka)^2 taukojen välillä
Σ (Moving distance between trees)^2 between pauses

x_{36} = Σ Kasausaika/keskimääräinen kasausmatka
Σ Bunching time/average bunching distance

x_{37} = Σ Siirtymisaika/siirtymismatka
Σ Moving time/moving distance between trees

x_{38} = Σ (Kasausaika/keskimääräinen kasausmatka) taukojen välillä
Σ (Bunching time/average bunching distance) between pauses

x_{39} = Σ (Siirtymisaika/siirtymismatka) taukojen välillä
Σ (Moving time/moving distance between trees) between pauses

Selittävä muuttuja on merkitty
Independent variable is designated

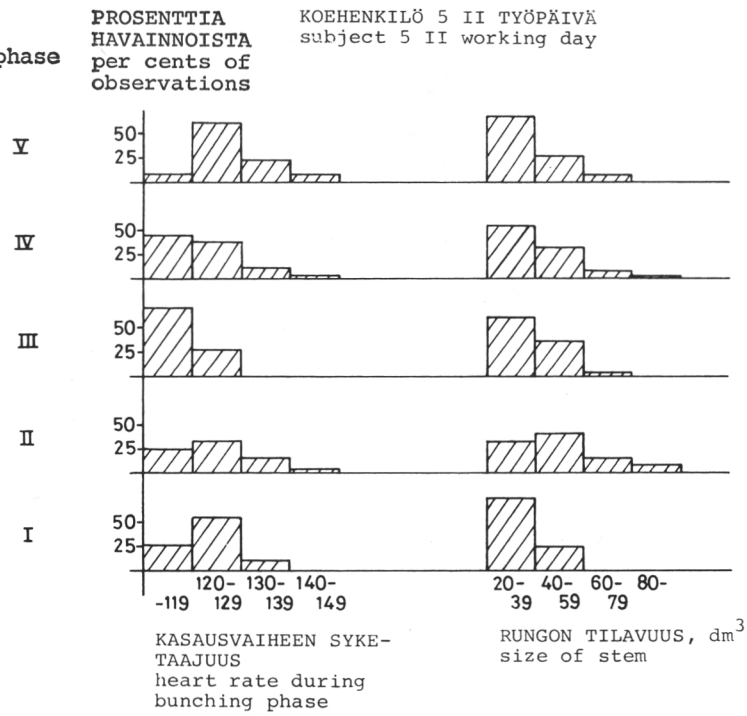
*** Jos muuttuja on selittänyt erittäin merkitsevästi y:n vaihtelua
If the variable has explained the variation of the dependent variable as significant at the 1 % level

** Jos muuttuja on selittänyt merkitsevästi y:n vaihtelua
If the variable has explained the variation of the dependent variable as significant at the 5 % level

* Jos muuttuja on selittänyt jokseenkin merkitsevästi y:n vaihtelua
If the variable has explained the variation of the dependent variable as significant at the 10 % level

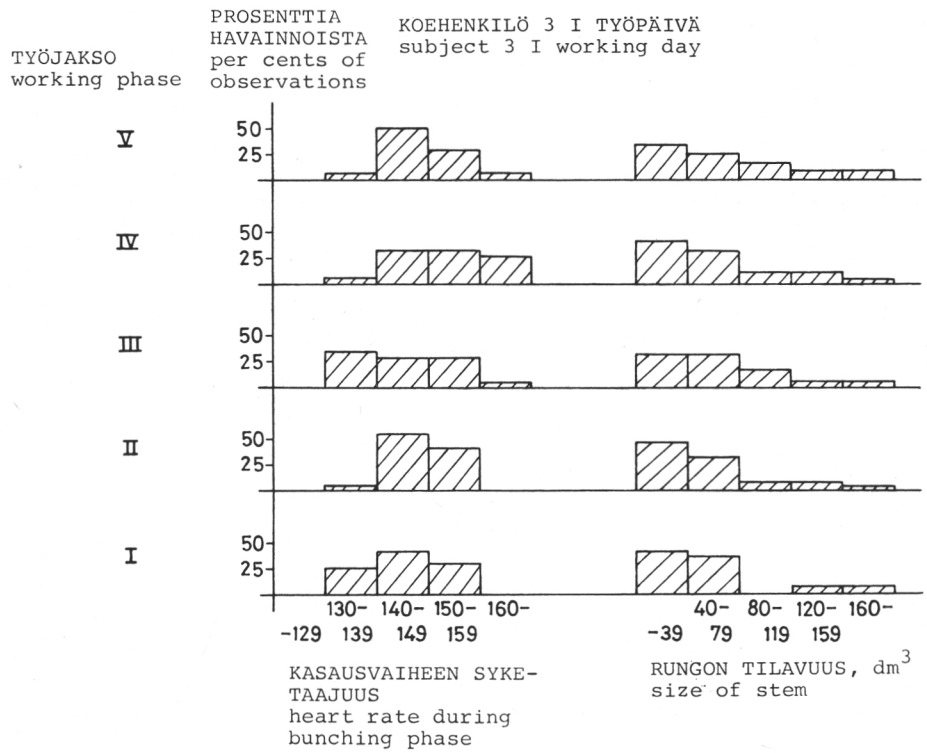
Liite 1. Koehenkilöiden kasausvaiheen syketaajuuden ja rungon tilavuuden prosentuaalinen jakauma eri luokkiin työjaksottain sekä regressiomallit samoille työjaksoille ja koko päivälle. Työjakso muodostuu kahden huolto- ja lepotauon välisestä ajasta. Työrupeama kesti yleensä 30—45 minuuttia ja tauko 10—20 minuuttia. Työjaksot I—III sijoittuivat yleensä aamupäivään ja IV—VI iltapäivään.

Appendix 1. The percentage distribution by work phases of the heart rate and the stem size for each subject during the bunching phase and regression models for the same working phase and the whole day. The working phase is the time between two rest pauses. The working phase was generally 30—45 minutes and the rest interval 10—20 minutes. Working phases I—III were generally before noon and IV—VI in the afternoon.



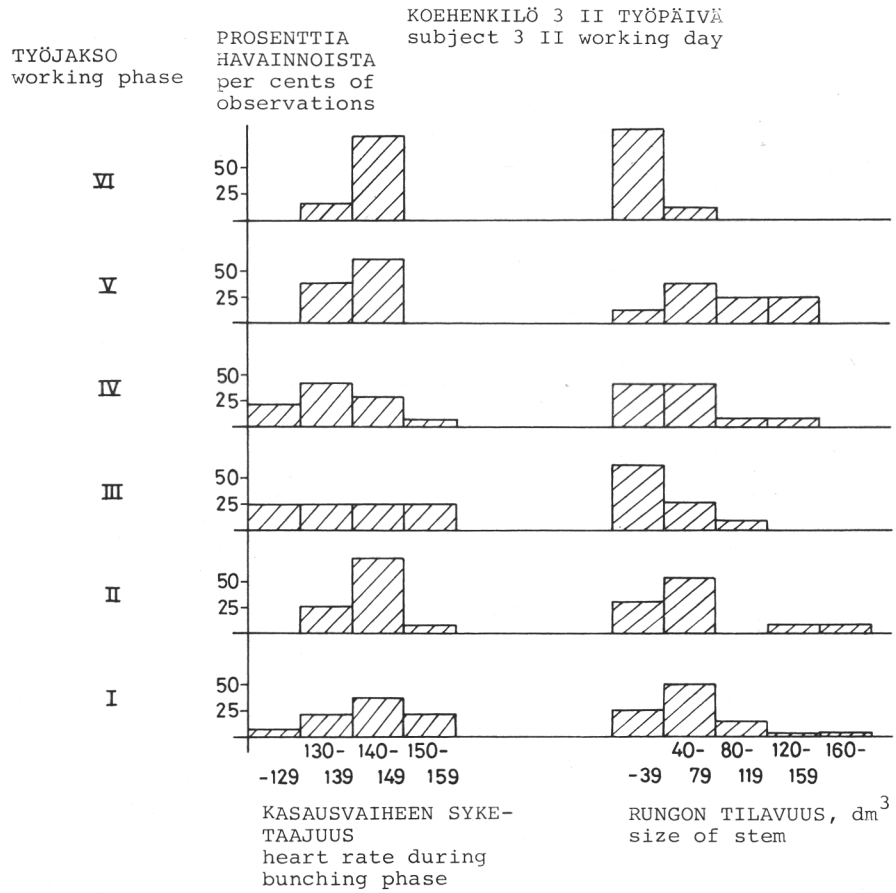
KOEHENKILÖ 5 II TYÖPÄIVÄ

Työjakso *Working phase*	Kasausvaiheen syketaajuuden regressiomalli *The regression model for the heart rate during the bunching phase*	Selitysaste R^2 *Explanation degree*
I	$y = 112{,}8 + 0{,}27 \cdot 10^{-2} \cdot x^*_{15} - 0{,}036 \cdot x^*_{19}$	24 %
II	$y = 381{,}3 + 3{,}86 \cdot x_7 - 0{,}59 \cdot 10^{-2} \cdot x^{***}_{21} + 0{,}52 \cdot x^{***}_{30} - 1{,}12 \cdot x^{**}_{31} - 0{,}95 \cdot x^*_{37}$	42 %
III	$y = 87{,}6 + 0{,}80 \cdot 10^{-2} \cdot x^{***}_{19} + 0{,}20 \cdot 10^{-2} \cdot x_{25}$	50 %
IV	$y = 109{,}8 + 0{,}34 \cdot 10^{-3} \cdot x^*_{15}$	71 %
V	$y = 127{,}8 - 0{,}37 \cdot x^*_2 + 0{,}71 \cdot 10^{-2} \cdot x^{**}_{25} - 0{,}83 \cdot x^*_{32}$	71 %
Koko päivä — *The whole day*	$y = 108{,}3 + 0{,}46 \cdot x^{**}_8 - 0{,}013 \cdot x^{***}_{14} + 0{,}21 \cdot 10^{-3} \cdot x^{***}_{15} - 0{,}37 \cdot 10^{-2} \cdot x^*_{25} + 0{,}28 \cdot x^{***}_{29}$	44 %



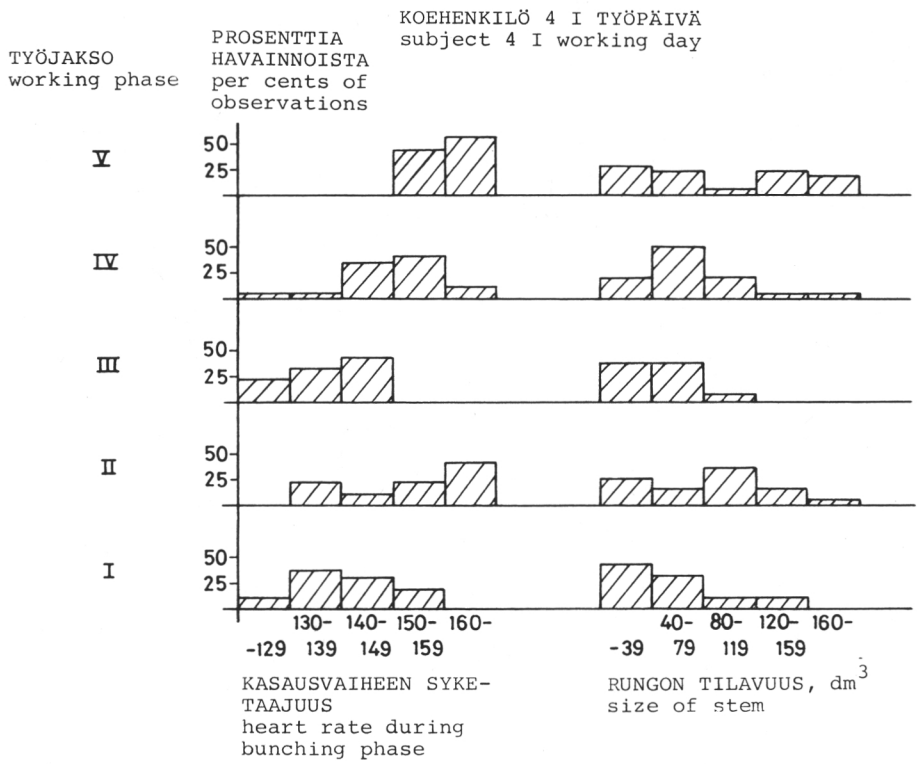
KOEHENKILÖ 3 I TYÖPÄIVÄ

Työjakso *Working phase*	Kasausvaiheen syketaajuuden regressiomalli *The regression model for the heart rate during the bunching phase*	Selitysaste R^2 *Explanation degree*
I	$y = 132{,}3 + 0{,}67 \cdot x^{***}_{28} + 0{,}12 \cdot x^{***}_{31}$	59 %
II	$y = 127{,}2 + 0{,}81 \cdot x^{***}_{6} + 0{,}31 \cdot 10^{-5} \cdot x^{***}_{16}$	69 %
III	$y = 133{,}9 + 2{,}89 \cdot x^{***}_{13} - 0{,}18 \cdot x_{34}$	72 %
IV	$y = -1\,014{,}9 + 3{,}84 \cdot x^{*}_{12} + 0{,}11 \cdot 10^{-3} \cdot x^{*}_{21} + 0{,}28 \cdot 10^{-3} \cdot x^{*}_{25}$	81 %
V	$y = 140{,}9 + 0{,}11 \cdot x^{**}_{8} - 0{,}87 \cdot x_{10}$	85 %
Koko päivä — *The whole day*	$y = 130{,}3 + 3{,}12 \cdot x^{***}_{7} - 0{,}011 \cdot x^{***}_{14} + 0{,}13 \cdot 10^{-3} \cdot x^{***}_{15} + 0{,}32 \cdot x^{***}_{29} - 0{,}012 \cdot x^{***}_{35}$	59 %



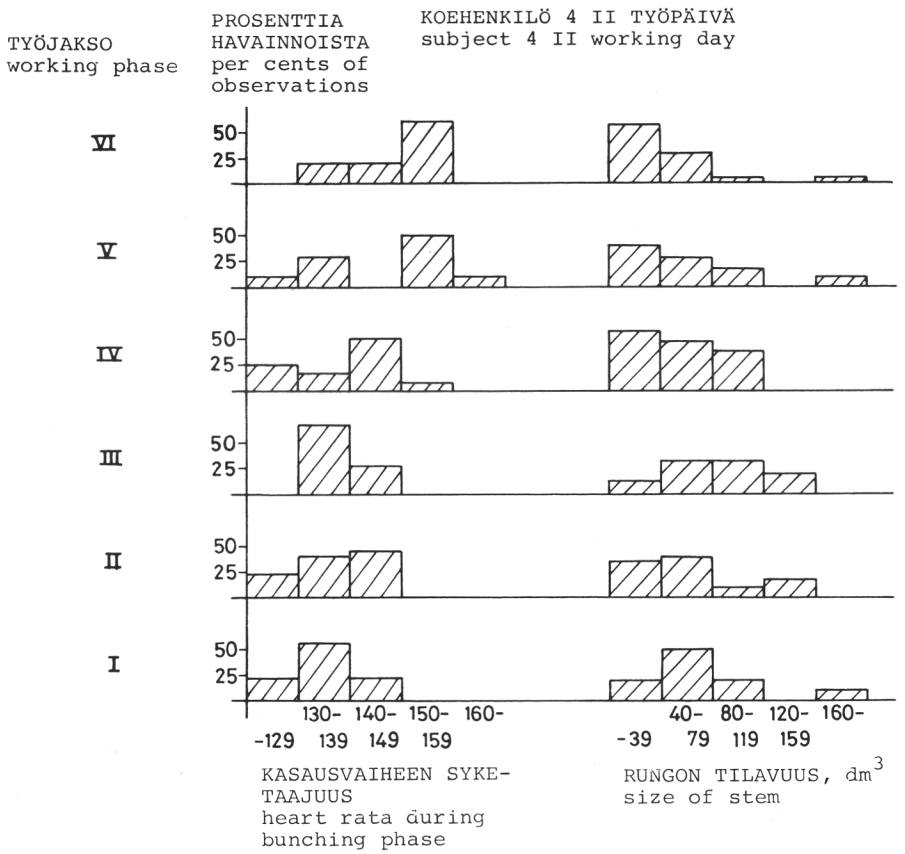
KOEHENKILÖ 3 II TYÖPÄIVÄ

Työjakso *Working phase*	Kasausvaiheen syketaajuuden regressiomalli *The regression model for the heart rate during the bunching phase*	Selitysaste R^2 *Explanation degree*
I	$y = 143{,}8 - 4{,}23 \cdot x^*_9 + 1{,}25 \cdot x^*_{28}$	62 %
II	$y = 140{,}2 - 0{,}47 \cdot x_2 + 2{,}64 \cdot x^*_{39}$	69 %
III	$y = 45{,}5 + 0{,}030 \cdot x^{**}_{17}$	72 %
IV	$y = 129{,}8 - 0{,}31 \cdot x^*_2 + 0{,}18 \cdot 10^{-3} \cdot x^{**}_{15} + 0{,}11 \cdot x^{**}_{27}$	64 %
V	$y = 132{,}1 + 0{,}27 \cdot x_3{}^{**} + 0{,}20 \cdot x_{10} - 0{,}44 \cdot x^*_{32}$	92 %
VI	$y = 192 + 0{,}24 \cdot 10^{-2} \cdot x^*_{15} - 0{,}024 \cdot x_{19}$	85 %
Koko päivä — *The whole day*	$y = 136{,}2 + 3{,}31 \cdot x^*_7 + 0{,}11 \cdot x^{**}_{22} + 0{,}43 \cdot 10^{-3} \cdot x^*_{25} - 0{,}30 \cdot x^{**}_{32} - 0{,}14 \cdot x^{**}_{33}$	38 %



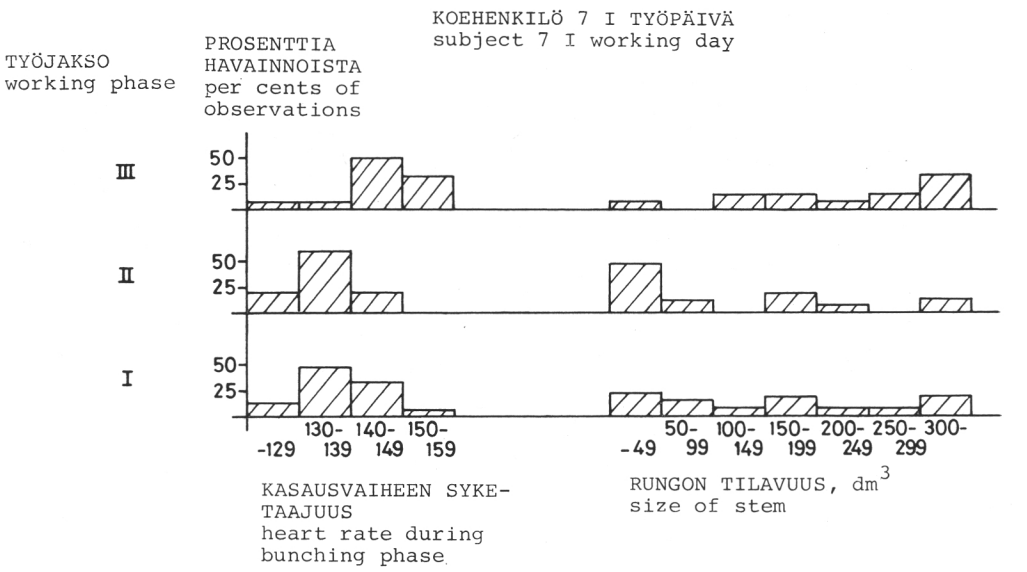
KOEHENKILÖ 4 I TYÖPÄIVÄ

Työjakso *Working phase*	Kasausvaiheen syketaajuuden regressiomalli *The regression model for the heart rate during the bunching phase*	Selitysaste R^2 *Explanation degree*
I	$y = 124{,}1 + 0{,}14 \cdot 10^{-4} \cdot x^{***}_{16} + 0{,}026 \cdot x^{**}_{24}$	81 %
II	$y = 117{,}1 + 0{,}11 \cdot 10^{-4} \cdot x^{***}_{16} + 0{,}77 \cdot 10^{-3} \cdot x^{***}_{25}$	86 %
III	$y = 113{,}5 - 7{,}15 \cdot x^{***}_{13} + 0{,}65 \cdot x^{**}_{23} + 0{,}11 \cdot x_{27}$	81 %
IV	$y = 71{,}4 + 0{,}47 \cdot 10^{-2} \cdot x^{***}_{14} + 0{,}037 \cdot x^{***}_{24}$	77 %
V	$y = 174{,}2 - 2{,}03 \cdot x^{*}_{6} + 0{,}14 \cdot x^{*}_{8} - 0{,}082 \cdot x^{**}_{27}$	53 %
Koko päivä — *The whole day*	$y = 125{,}5 + 0{,}54 \cdot 10^{-2} \cdot x^{***}_{14} - 0{,}044 \cdot x^{***}_{19} + 0{,}044 \cdot x^{***}_{23} + 0{,}026 \cdot x^{***}_{24}$	72 %



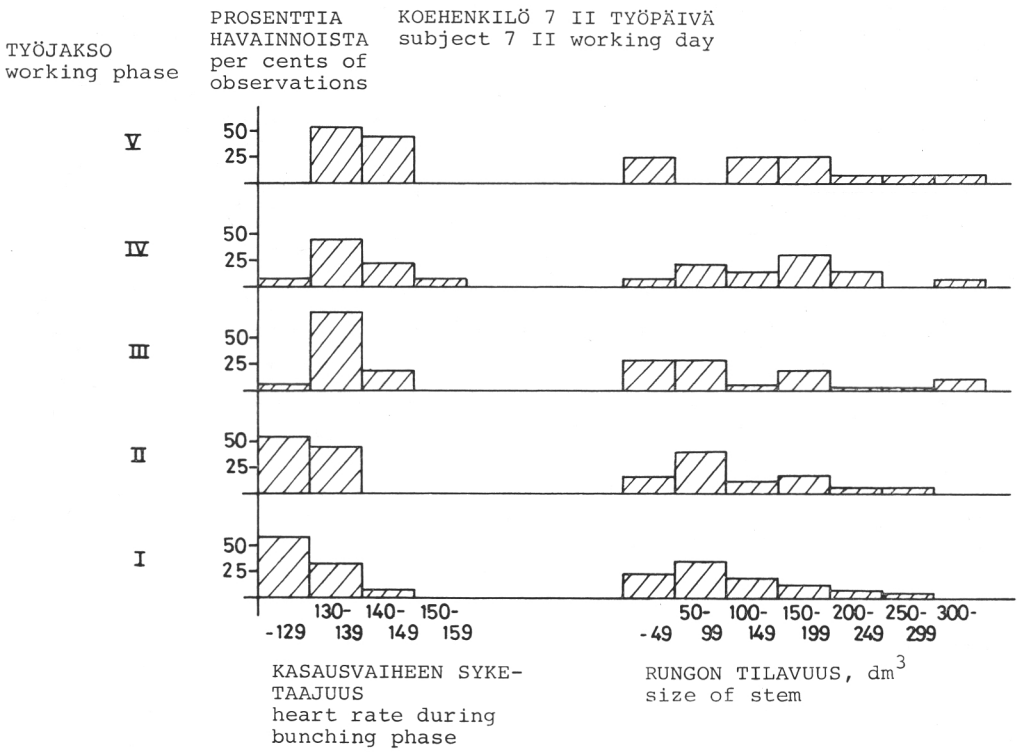
KOEHENKILÖ 4 II TYÖPÄIVÄ

Työjakso *Working phase*	Kasausvaiheen syketaajuuden regressiomalli *The regression model for the heart rate during the bunching phase*	Selitysaste R^2 *Explanation degree*
I	$y = 110{,}9 + 8{,}13 \cdot x^*_9$	55 %
II	$y = 193{,}9 - 5{,}04 \cdot x^*_7 - 0{,}14 \cdot 10^{-3} \cdot x^{***}_{16} + 0{,}20 \cdot 10^{-2} \cdot x^{***}_{25} + 0{,}55 \cdot x^{***}_{29}$	80 %
III	$y = 155{,}5 - 0{,}097 \cdot x^{**}_3 + 0{,}21 \cdot 10^{-3} \cdot x^{**}_{21} + 0{,}037 \cdot x^{***}_{24} - 0{,}29 \cdot x^*_{37}$	75 %
IV	$y = 91{,}4 + 8{,}43 \cdot x_9 + 0{,}044 \cdot x^{***}_{23} + 1{,}00 \cdot x^{**}_{28}$	68 %
V	$y = 124{,}8 + 11{,}5 \cdot x^{**}_7 - 0{,}36 \cdot x_{10} - 2{,}9 \cdot x^*_{33}$	71 %
VI	$y = 112{,}0 + 7{,}3 \cdot x^*_9 + 0{,}27 \cdot 10^{-3} \cdot x^{***}_{15}$	85 %
Koko päivä — *The whole day*	$y = 103{,}7 + 2{,}93 \cdot x^{**}_7 + 7{,}17 \cdot x^{**}_9 + 1{,}58 \cdot x^{**}_{11} - 0{,}23 \cdot 10^{-2} \cdot x^*_{14} + 0{,}34 \cdot 10^{-3} \cdot x^{**}_{15} + 0{,}056 \cdot x^{**}_{23} - 0{,}068 \cdot x^*_{31}$	49 %



KOEHENKILÖ 7 I TYÖPÄIVÄ

Työjakso *Working phase*	Kasausvaiheen syketaajuuden regressiomalli *The regression model for the heart rate during the bunching phase*	Selitysaste R^2 *Explanation degree*
I	$y = 103{,}2 + 0{,}70 \cdot x^{*}_{2} + 1{,}92 \cdot x^{*}_{11} - 0{,}035 \cdot x_{26}$	36 %
II	$y = 94{,}5 + 3{,}94 \cdot x^{**}_{11} + 0{,}92 \cdot 10^{-2} \cdot x^{***}_{23} - 0{,}12 \cdot x^{**}_{26} - 0{,}12 \cdot x^{**}_{27}$	83 %
III	$y = 60{,}7 + 0{,}065 \cdot x^{***}_{17} + 0{,}30 \cdot x^{*}_{18} - 1{,}11 \cdot x^{***}_{31}$	88 %
Koko päivä — *The whole day*	$y = 150{,}1 + 0{,}32 \cdot x^{*}_{11} + 0{,}022 \cdot x^{***}_{17} - 0{,}29 \cdot 10^{-4} \cdot x^{***}_{21} + 0{,}56 \cdot 10^{-2} \cdot x^{**}_{23} + 0{,}63 \cdot 10^{-4} \cdot x^{**}_{25}$	59 %



KOEHENKILÖ 7 II TYÖPÄIVÄ

Työjakso *Working phase*	Kasausvaiheen syketaajuuden regressiomalli *The regression model for the heart rate during the bunching phase*	Selitysaste R^2 *Explanation degree*
I	$y = 150{,}2 - 3{,}68 \cdot x^{***}_{6} + 0{,}65 \cdot x^{*}_{7} - 0{,}039 \cdot x^{***}_{17} + 0{,}40 \cdot 10^{-3} \cdot x^{*}_{25} + 1{,}07 \cdot x^{***}_{38}$	53 %
II	$y = 114{,}8 + 0{,}82 \cdot 10^{-6} \cdot x^{*}_{16} - 0{,}28 \cdot x^{**}_{37}$	59 %
III	$y = 135{,}2 - 0{,}36 \cdot x_{10} + 0{,}25 \cdot x_{15} + 0{,}30 \cdot 10^{-4} \cdot x_{25}$	16 %
IV	$y = 156{,}5 - 8{,}34 \cdot x^{***}_{10} + 0{,}68 \cdot x^{***}_{27}$	76 %
V	$y = 157{,}4 - 0{,}24 \cdot x^{*}_{2} - 4{,}29 \cdot x^{*}_{7} - 0{,}085 \cdot x^{**}_{22}$	85 %
Koko päivä — *The whole day*	$y = 140{,}8 - 0{,}91 \cdot x^{**}_{6} + 0{,}91 \cdot 10^{-4} \cdot x^{***}_{14} + 0{,}12 \cdot 10^{-3} \cdot x^{*}_{25} - 0{,}28 \cdot 10^{-2} \cdot x^{*}_{35}$	40 %

Liite 2. Veren biokemiallisten muuttujien pitoisuuksissa tapahtuneet muutokset koehenkilöittäin.
Appendix 2. Changes in the serum concentration of biochemical variables in each subject.

MUUTOKSET VEREN GLUKOOSI-PITOISUUDESSA

Changes in blood glucose

Koehenkilö *Subject*	1		2		3		4		5		6		7		Keski-arvo *Mean*
Koepäivä *Test day*	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
Pitoisuuden (mmol/1) vertausajankohdat *Times between which the concentration was compared*															
8/11	+0,5	+ 1,0			—0,3		+0,1		+0,2		+0,2	—0,5	—0,1	±0	+0,07
11/15		+ 1,5			+0,8		+2,0		—0,1	—0,8	—0,1	—0,1	—1,0	+0,5	+0,3

MUUTOKSET SEERUMIN FFA-PITOISUUDESSA

Changes in serum FFA

mmol/1															
8/11	+1,18	+0,60	+0,92		+0,44		+0,77		+0,65		+0,2	+0,35	+0,4	+0,58	+0,61
11/15		—0,33			—0,17		—0,13		+0,1		—0,02		—0,02	—0,09	—0,09

MUUTOKSET SEERUMIN II-OHCS-PITOISUUDESSA

Changes in serum II-OHCS

μg/100 ml															
8/11	—5,7	—10,1			+0,1				+1,7		—7,0	—6,4	—4,6	—3,6	—4,4
11/15					+0,9		+7,8				+1,7	—1,6	+0,8	+1,4	+1,8

MUUTOKSET VEREN HEMATOKRIITISSÄ

Changes in blood hematocrite

8/11	—0,02	—0,03			—0,03		—0,02		—0,05		—0,03	±0	—0,01	—0,01	—0,02
11/15		—0,01			—0,01		±0		—0,02		—0,01	—0,02	—0,01	—0,01	—0,01

MUUTOKSET SEERUMIN Na-PITOISUUDESSA

Changes in serum Na

mmol/l															
8/11	+2	+1	+2		+4						±0	±0	+4	—2	+1,4
11/15					—1		±0				+3	+1	—3	+5	+0,8

MUUTOKSET SEERUMIN K-PITOISUUDESSA

Changes in serum K

mmol/l															
8/11	—0,2	—0,4	—0,5		—0,2						—0,2	—1,1	—0,4	—0,4	—0,4
11/15					+0,2		—0,4				—0,1	—0,1	+0,8	±0	+0,07

SEERUMIN Na/K-SUHTEEN MUUTOKSET

Changes in serum Na/K

8/11	+2,2	+3,7	+4,7		+2,4						+1,5	+7,3	+4,4	+2,4	+3,6
11/15					—1,8		—4,4				+1,5	+1,1	—7,1	+1,2	—0,12

Liite 3. Virtsaan erittyneiden biokemiallisten muuttujien pitoisuuksissa tapahtuneet muutokset koehenkilöittäin.
Appendix 3. Changes in the urinary excretion of biochemical variables in each subject.

MUUTOKSET VIRTSAN ERITYKSESSÄ
Changes in urine flow

Koehenkilö *Subject*	1		2		3		4		5		6		7		Keski-arvo *Mean*
Koepäivä *Test day*	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
Keskim. erityksen (ml/min) vertaus-ajankohdat *Times between which the concentration was compared*															
18—21/21—6	—0,32	—0,99		—0,25	— 0,40	—0,75	— 0,54	— 0,54				—0,16			— 0,49
21—6/6—10		+0,17		+0,11		+0,36		+ 0,13	+ 0,74	+ 0,33					+ 0,31
6—10/10—12 ...	—0,18	—0,29	—0,44	—0,43	— 0,24	—0,25	— 0,21		— 0,30	+ 0,12	— 0,26	— 0,34	+ 0,54	+ 0,25	— 0,16
10—12/12—15 ...				+0,02	+ 0,67		+ 0,46		+ 0,24		— 0,04	+ 0,31		— 0,01	+ 0,23

MUUTOKSET 17-KETOGEENISTEN STEROIDIEN ERITYKSESSÄ VIRTSAAN
Changes in urinary 17-KGS

μg/min															
18—21/21—6	— 5,1			+ 2,0	— 3,3		— 2,2	+ 0,3			— 6,8	— 2,2			— 2,5
21—6/6—10		+ 1,2		+ 2,0						+ 1,9	+ 1,9	+ 0,6			+ 1,5
6—10/10—12 ...		+ 0,8	+ 2,5	— 2,2	+ 2,7	+ 1,2	+ 1,7	+ 4,7	+ 2,6	+ 1,0	+ 3,0	+ 1,4	+ 6,7	+ 5,6	+ 2,5
10—12/12—15 ...				+ 0,4	+ 4,2		+ 3,6		+ 0,4		— 1,4	+ 1,0		— 3,6	+ 0,6

MUUTOKSET ADRENALIININ ERITYKSESSÄ VIRTSAAN
Changes in urinary adrenaline

ng/min															
18—21/21—6		— 2,9		— 9,2	— 15,0	— 37,1	— 3,8	— 2,2	— 11,5	— 3,2					— 10,6
21—6/6—10		+ 7,8		+12,6						+ 10,3	+ 17,1	+ 34,6			+ 16,5
6—10/10—12 ...	+ 8,5	— 3,0	+15,3	— 2,0	+ 5,5	+ 7,3	+ 2,3	+ 7,5	+ 12,8	+ 6,6	+ 1,8	— 18,1	+11,5	+ 7,2	+ 4,5
10—12/12—15 ...				+ 4,0	+ 15,9		— 1,1		— 3,0		— 10,9	— 7,5		— 0,1	— 0,4

MUUTOKSET NORADRENALIININ ERITYKSESSÄ VIRTSAAN

Changes in urinary noradrenalin

ng/min															
18—21/21—6		— 3,5		—22,7	— 27,7		— 17,8	— 2,1	— 31,4	—10,8					— 16,6
21—6/6—10		+28,8		+15,3						+13,2	+ 33,9	+ 18,9			+ 23,9
6—10/10—12 ...	+33,3	+18,5	+57,8	+ 8,0	+ 63,6	+ 34,1	+ 8,4	+ 48,8	+ 54,4	+60,9	+ 63,2	+ 41,7	+59,0	+ 55,7	+ 43,4
10—12/12—15				+18,7	— 7,2		+ 85,7		+ 3,4		— 40,0	+ 56,8		— 30,5	+ 12,4

MUUTOKSET VIRTSAN NATRIUMIN ERITYKSESSÄ

Changes in urinary Na

µmol/min															
18—21/21—6	—69,1	—65,6			—123,4		—145,0	— 69,3			—452,9	—57,4			—140,4
21—6/6—10		—12,6		—12,0						—33,0	— 45,4	+13,8			— 14,9
6—10/10—12 ...		— 0,7		—92,2	— 12,0	—21,2	— 43,2	+ 0,1	+ 41,6	+28,1	+134,0	— 8,2	+66,5	+30,4	+ 10,3
10—12/12—15 ...				+93,2	+102,2		+100,2		+145,3		+ 17,7	+77,0		+18,5	+ 79,1

MUUTOKSET VIRTSAN KALIUMIN ERITYKSESSÄ

Changes in urinary K

µmol/min															
18—21/21—6	—74,8	+ 3,3			— 78,6		— 43,9	— 4,0			—106,4	—48,6			— 50,4
21—6/6—10		+ 9,4		+23,1						+14,1	+ 9,6	+40,9			+ 23,5
6—10/10—12 ...		+ 4,0		— 4,8	+ 35,6	+19,3	— 6,7	+ 44,0	+ 63,2	+38,6	+ 36,0	+ 2,5	+55,7	+35,5	+ 23,0
10—12/12—15 ...				+ 0,1	+100,0		+ 39,8		+ 61,0		+ 4,4	+35,9		+16,0	+ 36,7

MUUTOKSET Na/K SUHTEESSA

Changes in urinary Na/K

18—21/21—6	+0,48	+3,9			+ 0,44		— 0,01	— 1,37			+ 0,46	+1,73			+ 0,8
21—6/6—10		—1,15		—3,32						—1,51	— 2,74	—2,08			— 2,1
6—10/10—12 ...		—0,17		—1,55				— 1,62	— 0,85	—0,39	— 0,81	—0,17			— 0,8
10—12/12—15 ...				+1,94	+ 0,15		+ 0,01		+ 0,33		+ 0,07	+0,09		—0,14	+ 0,4

TULOKSIA RAUMAN ALUEEN MÄNTYTUKKIEN SAHAUKSESTA

MATTI KÄRKKÄINEN

Summary

RESULTS OF SAWING PINE LOGS IN RAUMA REGION, WESTERN FINLAND

HELSINKI 1980

ODC 852:174.7 *Pinus sylvestris*
ISBN 951-40-0468-X
ISSN 0026-1610

KÄRKKÄINEN, M. 1980. Tuloksia Rauman alueen mäntytukkien sahauksesta. Summary: Results of sawing pine logs in Rauma region, western Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 96(7):1—43.

Kolmelta puutavaran eri laatutasoa edustavalta leimikolta kaadettiin 184 mäntytukkirunkoa, joista tehtiin 437 tukkia. Ne luokiteltiin oksaisuuden ja muiden vikojen perusteella sekä sahattiin tavanomaisia asetteita käyttäen. Sahaustulos laatuluokitettiin vientisahatavaralle käytetyn menettelytavan mukaisesti.

Saanto aleni hieman tukin laadun parantuessa, mutta sahatavaran yksikköhinta kasvoi voimakkaasti. Lisäksi arvo kohosi järeyden lisääntyessä vaikutuksen ollessa voimakkain parhaissa tukeissa.

Leimikoiden välisiä eroja pystyttiin ennustamaan osittain keskimääräisen rinnankorkeusläpimitan ja alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden avulla. Eri oksaisuuslaatuluokkiin kuuluvien tukkien tilavuusosuuden ennustaminen onnistui paremmin kuin sahatavaran arvon ennustaminen.

---

184 stems were cut from three pine stands representing different qualities of raw material. 437 saw logs were made from the stems. They were graded according to knots and other defects and sawn using the customary set-ups of cant sawing. The sawn goods were graded using the method applied for export.

The yield of sawn goods decreased but the value of sawn goods increased considerably as the log quality improved. Besides this the value grew as the top diameter of log increased; the effect was greatest in good quality logs.

The differences between stands could be partly predicted using the average breast height diameter of the stems and the distance from the ground to the lowest dead branch of the crown. The proportion of various knottiness classes of the logs could be predicted more successfully than the value of the sawn goods.

Helsinki 1981. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 5

2. AINEISTO 6

3. TULOKSET 8

31. Saanto 8

32. Sahatavaran yksikköhinnat 12

33. Sahatavaran laatujakauma 20

34. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti 23

35. Rungoittainen tarkastelu 26

36. Leimikoittaiset tulokset 30

4. TULOSTEN TARKASTELUA 39

KIRJALLISUUTTA 42

SUMMARY 43

1. JOHDANTO

Aiemmin on julkaistu tutkimus, jonka tuloksena päädyttiin ehdottamaan mäntytukkileimikkojen objektiivista laatuluokitusta runkojen keskimääräisen rinnankorkeusläpimitan ja maasta alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden avulla (K ä r k k ä i n e n 1980). Kun menetelmä on herättänyt kiinnostusta käytännön metsätaloudessa yhtenä mahdollisuutena ottaa laatu entistä enemmän huomioon, on katsottu tarkoituksenmukaiseksi selvittää menetelmän käyttökelpoisuutta toisen, aiemmasta aineistosta riippumattoman aineiston avulla. Lisäksi on haluttu selvittää toisista olosuhteista kerätyn lisäaineiston avulla tukeittain ja rungoittain sahaustuloksen riippuvuutta tukkien ja runkojen ulkoisista, helposti mitattavista ominaisuuksista. Erityisesti rungoittaisia tuloksia on esitetty kirjallisuudessa niin vähän — Suomessa tiettävästi vain mainitussa K ä r k k ä i s e n (1980) tutkimuksessa — että niillä on suuri informaatioarvo mm. pohdittaessa mahdollisuuksia siirtyä runkohinnoitteluun tavanomaisen puutavaralajeittaisen hinnoittelun asemasta.

Tutkimuksen kenttätyöt kustansi ja niistä vastasi Rauma-Repola Oy, jonka tukiryhmässä olivat Seppo A u t e r e, Jaakko K a h i l u o t o, Reino K a n g a s j ä r v i ja Markku L a a k s o n e n. Metsäntutkimuslaitos huolehti puolestaan laskennasta ja julkaisun laadinnasta. Atk- käsittelystä ja muusta laskennasta huolehti Tarja B j ö r k l u n d, kuvien piirtämisestä Leena M u r o n r a n t a, käsikirjoituksen tietokonekirjoituksesta Aune R y t k ö n e n ja Raija S i e k k i n e n sekä raportin englanninkielen tarkistuksesta L. A. K e y w o r t h. Viimeistelytyössä avusti Pirkko K i n a n e n. — Käsikirjoitukseen teki parannusehdotuksia Juhani S a l m i. Sen lukivat Metsäntutkimuslaitosta varten Pentti H a k k i l a ja Pentti N i s u l a. Kiitän avusta.

2. AINEISTO

Tutkimuksen empiiriseksi aineistoksi otettiin mäntytukkirunkoja Rauman alueelta, koska aiemman tutkimuksen (tarpeettoman toiston välttämiseksi ilmaisulla »aiempi tutkimus» tarkoitetaan K ä r k k ä i s e n (1980) raporttia) tulokset antoivat viitteitä siitä, että Suomen länsirannikon puut saattavat poiketa sisämaa-alueiden puista. Kohteiksi valittiin kolme päätehakkuuikäistä (runkojen keski-ikä 108 v) mäntymetsikköä, joiden etäisyys meren rannasta oli noin 20 km. Aiemman tutkimuksen suunnitelmaa aineiston keräämiseksi noudatettiin siten, että yksi leimikko edusti hyvää, toinen keskinkertaista ja kolmas heikkoa mäntytukkirunkojen laatua. Rungoista ja tukeista tehtiin samat mittaukset samalla tavalla kuin edellisessäkin tutkimuksessa.

Tukit sahattiin Palvaanjärvellä käyttäen likimain samoja asetteita kuin aiemminkin. Poikkeuksena olivat kaikkein järeimmät tukit, joista tehtyjen sydäntavarakappaleiden nimellispaksuus oli 75 mm muissa tukeissa käytetyn 50 mm asemasta. Tämä poikkeama aiemmasta menettelystä on vaikuttanut jonkin verran soirojen ja lautojen osuuteen sahatavaran kokonaismäärästä suurimmissa tukeissa.

Sahatavaran laatulajittelu pyrittiin tekemään mahdollisimman paljon samalla tavalla kuin aiemmin mm. käyttämällä samoja henkilöitä lajittelussa. Myös hinnoittelu tehtiin samalla tavalla: toisaalta laadut I...IV hinnoiteltiin käyttäen samaa arvoa (erikseen soiroille ja laudoille), toisaalta annettiin kullekin laadulle oma arvolukunsa huolimatta siitä, että laadut I...IV pidetään lähes poikkeuksetta vientimyynnissä erittelemättömänä u/s-laatuna. — Kun u/s-laudan arvoa merkittiin luvulla 100, muut saivat seuraavat arvot.

	Laadut I...IV hinnoiteltu erikseen		Laadut I...IV hinnoiteltu yhdessä	
	Soirot	Laudat	Soirot	Laudat
I	158	220	72	100
II	101	140	72	100
III	76	105	72	100
IV	65	90	72	100
V	55	58	55	58
VI	47	47	47	47
Oksaton vajaasärmä		102		102
Höylävajaasärmä		57		57
Vientivajaasärmä		35		35
Kotimaan vajaasärmä		30		30

Hinnoittelu on nyt esitetty uudestaan, koska aiemmassa tutkimuksessa esitys oli epäselvä ja sisälsi painovirheen (laudat ja soirot olivat vaihtaneet paikkaa, ks. K ä r k k ä i n e n 1980, s. 94).

Aineiston tärkeimmät tunnukset on esitetty taulukossa 1. Kun mittauslomakkeilta oli poistettu muutamat kuusirungot sekä epäselvät tapaukset, joissa oli jotakin ristiriitaa sahauslomakkeiden ja maastossa kerättyjen tietojen välillä, aineistoksi jäi 437 tukkia eli jonkin verran vähemmän kuin

aiemmassa tutkimuksessa (609 tukkia). Eräiden muuttujien osalta efektiivinen havaintomäärä oli pienempi, koska käsittelyn aikana poistettiin selvästi virheelliset tiedot.

Käsillä olevan tutkimuksen rungot olivat suurempia ja vastaavasti tukit kookkaampia: nyt keskikoko oli 277 dm³, aiemmin 207 dm³. Suositeltuja tukkien minimimittoja noudatettiin nyt tarkemmin, ja näin ollen 13 cm:n läpimittaluokkaan kuuluvia tukkeja ei sahauksessa ollut lainkaan aiemmasta tutkimusaineistosta poiketen.

Taulukko 1. Tutkimusaineisto.
Table 1. Study material.

Muuttuja — *Variable*	Leimikon laatu — *Quality of stand*			Yhteensä *Total*
	Huono *Low*	Keskinkertainen *Middling*	Hyvä *Good*	
Runkoja — *No. of stems*	72	57	55	184
Keskimääräinen rungon tukkiosa, dm³ — *Average volume of timber part, dm³*	697	556	714	658
Tukkeja — *No. of logs*	174	124	139	437
Tukin keskitilavuus, dm³ — *Average volume of logs, dm³*	288	255	283	277
Sahatavarasaanto, %[1]) — *Yield of sawn goods, %*[1])	50,1	50,4	49,3	49,9

[1]) Sahatavaran tilavuus ilmakuivana ja kuorellisten tukkien tuoreena — *Volume of sawn goods air-dry and that of logs green incl. bark.*

3. TULOKSET

31. Saanto

Taulukossa 2 on esitetty sahatavarasaanto tukin Newtonin kaavalla määritetystä kuorellisesta tilavuudesta. — Kiintoisinta on saannon selvä kohoaminen oksaisuuslaatuluokan laskiessa sekä tarkasteltaessa tilannetta läpimittaluokittain että keskimääräisesti. Sama käytännön sahaustoiminnassa verraten tuntematon tulos on saatu myös eräissä aiemmissa tutkimuksissa (Heiskanen 1951, s. 101, Mäntysahatukkien... 1956, s. 43, Orvér 1970 b, Kärkkäinen 1980). Sama ero vallitsee myös tyvitukkien ja muiden tukkien välillä: saanto on tyvitukeista alhaisempi (esim. Heiskanen 1971). — Ilmiötä voi näin ollen pitää varsin varmana ja tarpeellisena ottaa huomioon mm. simulointitutkimuksissa.

Aiempaan vastaavaan tutkimukseen verrattuna saanto oli kaikissa oksaisuuslaatuluokissa korkeampi. Syynä ei voinut olla pelkästään järeysero, sillä sama ero oli havaittavissa myös läpimittaluokittain. Todennäköisin saantoeron syy on hiukan erilainen suhtautuminen pintalautoihin koesahausvaiheessa. Kuten tunnettua, pintalautapolitiikka vaikuttaa herkästi saantolukuihin.

Taulukko 2. Saanto tukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan eri oksaisuuslaatuluokan tukeissa. Tukin kuorellinen tilavuus on laskettu tarkoista mitoista Newtonin kaavalla.

Table 2. Yield of sawn goods in per cent of log volume incl. bark in the logs of various knottiness classes by top diameter u.b. Log volume calculated by Newton rule using exact diameters.

Latvaläpimitta — *Top diameter cm*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
15	52,6	10,5	2	51,9	5,4	6	52,9	9,5	14	52,6	8,3	22
17	47,3	8,3	4	53,9	11,3	8	52,9	9,0	34	52,6	9,3	46
19	47,8	5,5	10	53,8	5,9	15	56,1	5,0	27	53,8	6,1	52
21	51,5	6,6	12	58,2	3,5	16	54,1	9,3	25	54,8	7,7	53
23	50,7	5,1	21	56,2	6,0	13	55,1	8,5	28	53,8	7,3	62
25	51,1	6,3	35	50,0	5,9	9	54,8	6,5	25	52,3	6,5	69
27	52,2	5,8	25	53,4	6,1	14	55,0	5,1	13	53,2	5,7	52
29	53,3	6,5	8	49,8	8,0	6	56,7	4,2	10	53,9	6,4	24
31	49,7	5,3	14	46,0	7,7	6	52,5	7,6	6	49,5	6,6	26
33	51,7	3,4	6	46,4	12,7	5	53,7	8,4	2	50,0	8,6	13
35	48,2	0,9	2	—	—	—	54,0	9,3	4	52,0	7,8	6
37	49,1	3,2	4	—	—	—	49,8	—	1	49,2	2,8	5
Yht. — *Total*[1]	50,9	5,8	143	53,2	7,4	99	54,5	7,6	189	53,0	7,2	431

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

Taulukko 3. Saanto tukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan eri oksaisuuslaatuluokan tukeissa. Tukin kuorellinen tilavuus on otettu yleisesti käytetystä taulukosta luokitellun kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Table 3. Yield of sawn goods in per cent of log volume incl. bark in the logs of various knottiness classes by top diameter u.b. Log volume from table.

Latvaläpimitta — *Top diameter cm*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
15	53,4	4,9	2	50,4	9,2	6	53,9	12,5	14	52,9	11,0	22
17	43,8	7,9	4	50,8	9,7	8	52,6	9,9	35	51,5	9,8	47
19	48,0	5,8	11	50,9	7,1	15	55,6	5,6	27	52,7	6,8	53
21	50,5	5,7	13	53,5	5,0	17	51,5	9,6	26	51,9	7,6	56
23	49,1	5,4	21	49,9	4,1	13	51,3	7,0	28	50,3	5,9	62
25	48,2	5,6	36	46,4	6,2	9	51,1	5,2	25	49,0	5,7	70
27	50,2	5,1	25	50,1	5,8	14	51,8	4,3	13	50,6	5,0	52
29	50,1	7,2	8	48,8	6,2	6	50,3	5,9	10	49,8	6,2	24
31	47,3	4,4	14	43,3	6,4	6	49,1	5,8	6	46,8	5,4	26
33	47,6	2,1	6	44,4	10,4	5	46,2	5,7	2	46,2	6,5	13
35	50,0	6,8	2	—	—	—	48,1	1,8	4	48,7	3,5	6
37	48,6	4,8	4	—	—	—	48,9	—	1	48,6	4,2	5
Yht. — *Total*[1])	48,8	5,4	146	49,7	6,9	100	52,1	7,9	191	50,5	7,1	437

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

Taulukossa 3 on esitetty saantoluvut taulukon mukaisista tukkien tilavuuksista. Edelliseen taulukkoon verrattuna saantoluvut ovat hieman alhaisemmat kaikissa oksaisuuslaatuluokissa. Vastaava tulos saatiin aiemmin parhaita tukkeja lukuun ottamatta.

Kun saanto paranee tukkien oksaisuuslaadun heiketessä mittaustavasta riippumatta, kyseessä ei voi olla pelkästään tukkien mittaustavasta johtuva näennäisvaikutus. Aiemmin on syyksi esitetty tyvitukkien muita tukkeja suurempi lenkous, joka alentaa saantoa parhaassa oksaisuuslaatuluokassa, jossa on keskimääräistä enemmän tyvitukkeja. — Käsillä olevan tutkimuksen aineistossa tämä ei kuitenkaan voi olla merkittävä syy, sillä lenkous oli seuraavan jaotelman mukaisesti samaa luokkaa.

Oksaisuuslaatuluokka	Lenkous mm	
	x̄	s
1	28	13
2	29	13
3	26	14

Kahden parhaan oksaisuuslaatuluokan tukit olivat selvästi lengompia kuin aiemmassa tutkimuksessa keskimäärin (1. oksaisuuslaatuluokka 20 mm, 2. vastaavasti 24 mm). Ilmeisesti tämä on myös syy siihen, ettei oksaisuuslaatuluokkien välillä ollut juuri eroja, toisin kuin aiemmassa tutkimuksessa.

Kun lenkous ei voi olla saantoeron syy, todennäköisimmäksi tekijäksi jää se, että kapeneminen on lisääntynyt laadun heiketessä. Kun kyseessä on sahatavaran määrä, olennainen tunnus on kuoreton kapeneminen, jota ei mitattu. Erot kuorellisessa kapenemisessa olivat tosin vähäisiä, mutta tämä saattaa olla harhaanjohtavaa sikäli, että tyvitukeissa kuorellinen kapeneminen voi olla olennaisesti suurempi kuin kuoreton kapeneminen kaarnanmuodostuksesta johtuen. — Kapenemisen merkitystä tukee se, että lautojen osuus sahatavarasta kasvoi tukin laadun heiketessä. Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa lautojen osuus oli 27,4 %, toisen 30,3 % ja kolmannen 31,7 %. Ero oli havaittavissa myös tukin koon eliminoinnin jälkeen.

Taulukossa 4 on esitetty saantotulokset Newtonin kaavalla lasketun tukin tilavuudesta, kun luokittelutekijäksi otettiin oksaisuuden lisäksi myös muut viat tavanomaisen Heiskasen ja Siimeksen (1959) laatuluokituksen mukaisesti aiemmassa tutkimuksessa esitetyin tarkennoksin. Taulukkoon 2 vertaamalla havaitaan parhaan luokan tukkien määrän alentuneen ja toisen luokan nousseen. Sama tulos saatiin myös aiemmassa tutkimuksessa. Tulos kuvaa sitä, että oksaisuuden perusteella määritellystä ensimmäisestä oksaisuuslaatuluokasta siirtyy muiden vikojen takia toiseen laatuluokkaan enemmän tukkeja kuin oksaisuuden perusteella määritellystä toisesta oksaisuuslaatuluokasta muiden vikojen takia kolmanteen laatuluokkaan.

Aiemmassa tutkimuksessa kolmannesta oksaisuuslaatuluokasta siirtyi varsin runsaasti tukkeja raakkitukkien luokkaan erityisesti lenkouden takia, joka saa olla latvaläpimitaltaan 19 cm tai pienemmissä tukeissa ainoastaan 40 mm ja suuremmissa tukeissa 60 mm. Käsillä olevassa tutkimuksessa vastaavia siirtymiä ei kirjattu lainkaan. Todellisuudessa niitä olisi ollut lenkoustiedoista päätellen. Jälkikäteen ei kuitenkaan

Taulukko 4. Saanto tukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan eri laatuluokan tukeissa. Tukin kuorellinen tilavuus on laskettu tarkoista mitoista Newtonin kaavalla.

Table 4. Yield of sawn goods in per cent of log volume incl. bark in the logs of various quality classes by top diameter u.b. Log volume calculated by Newton rule using exact diameters.

Latvaläpimitta — *Top diameter cm*	Laatuluokka — *Quality class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
15	60,2	—	1	51,4	5,3	8	52,7	9,9	13	52,6	8,3	22
17	47,3	8,3	4	55,9	10,6	7	52,5	9,1	35	52,6	9,3	46
19	50,7	4,4	5	51,9	7,2	18	55,6	5,2	29	53,8	6,1	52
21	51,8	5,4	10	57,3	5,5	18	54,1	9,3	25	54,8	7,7	53
23	51,4	5,3	17	54,9	6,7	15	54,7	8,4	30	53,8	7,3	62
25	51,9	6,5	27	50,1	4,5	16	54,1	7,2	26	52,3	6,5	69
27	51,9	6,4	20	52,5	5,3	16	55,6	4,8	16	53,2	5,7	52
29	53,3	6,5	8	52,1	6,2	5	55,0	6,9	11	53,9	6,4	24
31	49,4	5,9	11	47,3	7,1	8	52,1	7,0	7	49,5	6,6	26
33	51,9	2,5	4	48,0	12,0	6	51,4	7,1	3	50,0	8,6	13
35	48,2	0,9	2	—	—	—	54,0	9,3	4	52,0	7,8	6
37	49,7	3,7	3	47,2	—	1	49,8	—	1	49,2	2,8	5
Yht. — *Total*[1])	51,4	5,9	112	52,6	7,1	119	54,1	7,8	200	53,0	7,2	431

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

ryhdytty kolmannen laatuluokan jaotteluun, koska myös käytännön raaka-ainepolitiikassa on jouduttu usein tinkimään 40 tai 60 mm rajasta erityisesti rannikkoseuduilla. Lisäksi em. rajat ylittäviä tukkeja oli vähän omaksi luokaksi erottamista ajatellen.

Laatuluokkien käyttäminen oksaisuuslaatuluokkien asemasta vaikutti saantotuloksiin varsin vähän. Parhailla tukeilla saanto tosin hieman nousi, muilla laski pelkkään oksaisuusluokitukseen verrattuna. Muutokset olivat kuitenkin kaiken kaikkiaan pieniä ja osoittavat, etteivät muut viat kuin oksaisuus merkittävästi vaikuttaneet aineistossa saantoa alentavasti sahatavaran lyhenemisen tai tavanomaista voimakkaamman särmäyksen vuoksi. Tämä havainto tukee ajatusta, että tulokseen olennaisesti vaikuttavat raaka-aineen ominaisuudet tulevat otetuksi huomioon varsin hyvin keskittymällä pelkästään oksaisuuteen tai sen kanssa hyvin korreloiviin objektiivisesti mitattavissa oleviin tekijöihin.

Olennaisesti samat johtopäätökset voidaan tehdä myös taulukon 5 perusteella, joka poikkeaa taulukosta 4 ainoastaan sikäli, että tukin tilavuus on määritetty taulukosta jälkimittauksessa yleisen tavan mukaisesti.

Taulukoista 2...5 voidaan tehdä erikoinen havainto, että saanto pikemminkin alenee kuin kasvaa läpimitan suuretessa. Tämä on ristiriidassa aiemman tutkimuksen tuloksien ja yleisesti vallitsevan käsityksen kanssa (esim. Heiskanen 1976, s. 56). Heikohkon trendin syytä ei voitu selvittää, mutta luultavasti ilmiö liittyy enemmän ihmisen (sahurin) käyttäytymiseen kuin raaka-aineen ominaisuuksiin. — Ilmiön lievyydestä johtuen sillä ei ole olennaista merkitystä käsillä olevan tutkimuksen tuloksien yleistettävyyttä ajatellen.

Taulukko 5. Saanto tukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan eri laatuluokan tukeissa. Tukin kuorellinen tilavuus on otettu yleisesti käytetystä taulukosta luokitellun kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Table 5. Yield of sawn goods in per cent of log volume incl. bark in the logs of various quality classes by top diameter u.b. Log volume from table.

Latvaläpimitta — *Top diameter cm*	Laatuluokka — *Quality class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
15	56,9	—	1	50,9	7,9	8	53,8	13,0	13	52,9	11,0	22
17	43,9	7,9	4	53,1	7,8	7	52,1	10,2	36	51,5	9,8	47
19	49,4	4,6	5	49,7	7,5	18	55,0	5,8	30	52,7	6,8	53
21	49,9	4,1	11	53,5	5,7	19	51,5	9,6	26	51,9	7,6	56
23	49,6	5,8	17	49,4	4,0	15	51,1	6,8	30	50,3	5,9	62
25	48,6	5,4	28	47,3	5,6	16	50,5	5,9	26	49,0	5,7	70
27	50,1	5,6	20	49,4	4,7	16	52,4	4,3	16	50,6	5,0	52
29	50,1	7,2	8	50,6	4,9	5	49,3	6,4	11	49,8	6,2	24
31	47,2	4,7	11	44,0	5,9	8	49,2	5,3	7	46,8	5,4	26
33	48,0	2,5	4	44,6	9,3	6	46,8	4,2	3	46,2	6,5	13
35	50,0	6,8	2	—	—	—	48,1	1,8	4	48,7	3,5	6
37	48,7	5,9	3	48,1	—	1	48,9	—	1	48,6	4,2	5
Yht. — *Total*[1])	49,0	5,5	114	49,6	6,5	120	51,8	7,9	203	50,5	7,1	437

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

Taulukko 6. Soirojen yksikköhinta tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin erikseen.

Table 6. Volume price of battens according to the knottiness class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I...IV of battens are priced separately.

Latvaläpimitta — *Top diameter cm*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
15	66,9	15,6	2	69,2	18,0	6	59,5	9,5	14	62,9	12,8	22
17	91,5	29,9	4	60,9	9,4	8	55,7	13,7	35	59,6	17,6	47
19	82,8	19,6	11	65,3	26,3	15	54,0	4,0	27	63,1	19,9	53
21	72,7	23,9	13	61,8	18,8	17	52,2	12,7	26	59,9	19,2	56
23	79,0	21,7	21	64,9	19,0	13	54,6	8,7	28	65,0	19,4	62
25	77,0	23,3	36	61,1	5,0	9	53,2	3,8	25	66,5	20,2	70
27	89,6	27,3	25	70,0	17,9	14	53,9	7,3	13	75,4	25,9	52
29	102,3	29,9	8	66,3	9,0	6	54,8	8,9	10	73,5	27,8	24
31	116,4	25,1	14	69,1	14,8	6	56,2	8,9	6	91,6	34,0	26
33	100,5	24,1	6	82,8	21,7	5	61,6	20,7	2	87,7	25,3	13
35	90,2	14,9	2	—	—	—	65,3	24,3	4	73,6	23,8	6
37	79,1	23,2	4	—	—	—	60,0	—	1	75,3	21,9	5
Yht. — *Total*[1])	86,1	26,7	146	65,9	18,0	100	54,9	10,1	191	67,9	23,3	437

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

32. Sahatavaran yksikköhinnat

Aluksi tarkastellaan taulukoiden 6...11 perusteella tuloksia hinnoiteltaessa laadut I...IV erikseen ja sitten taulukoiden 12...14 mukaan myytäessä u/s-sahatavara erittelemättömänä. Jälkimmäinen tarkastelutapa vastaa nykyhetken käytäntöä, kun taas edellinen kuvaa paremmin laadun sisäistä jakaumaa u/s-ryhmän sisällä.

Taulukossa 6 on esitetty soirojen yksikköhinta oksaisuuslaatuluokittain tukin kuorettoman latvaläpimitan mukaan. Tulosten perusteella tukkien laatuluokittelu on onnistunut hyvin: on syntynyt sahatavaran yksikköhinnaltaan selvästi eriarvoisia ryhmiä. Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeista saatujen soirojen yksikköhinta oli keskimäärin 57 % korkeampi kuin kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeista saatujen. Osittain ero johtui parhaiden tukkien järeydestä. Kuitenkin myös tarkastelemalla samoja läpimittaluokkia havaitaan ero suureksi. Esimerkiksi 23 ja 25 cm läpimittaluokissa, joissa oli kummassakin tarkastellussa oksaisuuslaatuluokassa yli 20 tukkia, ensimmäisen ja kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeista saatujen soirojen yksikköhinnan ero oli 45 %.

Luokkien välinen ero oli selvästi suurempi kuin aiemmassa tutkimuksessa, jossa esim. ensimmäisen ja kolmannnen oksaisuuslaatuluokan ero oli 40 % suuruusluokkaa. Myös kussakin oksaisuuslaatuluokassa yksikköhinta oli käsillä olevassa tutkimuksessa korkeampi kuin aiemmassa tutkimuksessa eron ollessa suurimmillaan parhaissa tukeissa.

Taulukosta 6 voidaan tehdä myös jo aiemmassa tutkimuksessa tehty havainto, että tukkien välinen hajonta on sitä suurempi, mitä parempilaatuisesta tukista on kyse.

Taulukko 7. Lautojen yksikköhinta tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin erikseen. Kaikista tukeista ei ole saatu lautatavaraa.

Table 7. Volume price of boards according to the knottiness class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I...IV of boards are priced separately.

Latvaläpimitta — *Top diameter cm*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
15	46,3	16,0	2	35,0	0,0	6	40,4	7,3	11	39,3	7,5	19
17	56,6	30,5	4	50,3	21,2	8	41,6	14,3	34	44,4	17,6	46
19	76,3	40,7	11	50,3	20,9	15	43,4	4,5	27	52,2	24,7	53
21	89,5	54,0	13	53,6	15,5	17	44,3	4,3	26	57,6	32,3	56
23	87,9	41,4	21	57,3	18,2	13	44,0	6,2	28	61,7	32,1	62
25	109,6	41,0	36	79,8	26,3	9	50,4	15,1	25	84,6	42,0	70
27	127,9	43,1	25	81,0	32,8	14	52,2	16,0	13	96,3	47,5	52
29	115,2	48,0	8	66,9	16,3	6	52,2	19,7	10	76,9	41,3	24
31	156,8	27,2	14	95,8	32,6	6	66,8	29,8	6	121,9	48,5	26
33	145,8	48,6	6	101,1	39,7	5	79,8	8,6	2	118,4	47,6	13
35	91,6	6,8	2	—	—	—	67,0	41,0	4	75,2	34,3	6
37	101,5	26,9	4	—	—	—	49,1	—	1	91,0	33,1	5
Yht. — *Total*[1])	108,8	47,5	146	64,3	28,5	100	46,8	14,7	187	71,8	42,3	433

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

Käsillä olevassa tutkimuksessa hajonnan tunnusluku oli eri ryhmissä selvästi aiempaa suurempi. Ilmeisesti tämä liittyi keskimäärin korkeampaan laatuun kussakin oksaisuuslaatuluokassa.

Taulukossa 7 on esitetty vastaavat tulokset laudoista. Soiroihin verrattuna oksaisuuslaatuluokan vaikutus on kasvanut: keskimääräinen ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeista saatujen lautojen yksikköhinta on 2,3 -kertainen kolmanteen oksaisuuslaatuluokkaan verrattuna. Osittain ero johtuu luokkien erilaisesta tukkien järeydestä, mutta senkin eliminoinnin jälkeen yksikköhinta on likimain kaksinkertainen ensimmäisessä oksaisuuslaatuluokassa kolmanteen verrattuna.

Merkittävää on, että tukkien järeys vaikuttaa selvästi ja sitä enemmän, mitä parempilaatuisista tukeista on kyse. Samoin voidaan havaita sama hajontailmiö kuin soiroilla: tukkien välinen lautojen yksikköhinnan hajonta kasvaa oksaisuuslaatuluokan parantuessa.

Yleisten johtopäätösten osalta nyt saadut tulokset vastaavat täysin aiemman tutkimuksen tuloksia. Absoluuttiset erot olivat samanlaiset kuin soiroilla: nyt tutkitussa aineistossa keskimääräinen yksikköhinta oli korkeampi eron ollessa sitä suurempi, mitä paremmista tukeista oli kyse. Samoin myös hajonta oli suurempi.

Taulukossa 8 on esitetty vastaavalla tavalla keskimääräinen sahatavaran yksikköhinta, joka määräytyy soirojen ja lautojen yksikköhinnoista niiden tilavuusosuuksien perusteella. Näin ollen johtopäätökset ovat samat kuin soirojen ja lautojen osalta absoluuttisten lukujen painottuessa soirojen suuntaan niiden hallitsevan osuuden

Taulukko 8. Sahatavaran yksikköhinta tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin erikseen (erikseen soirot ja laudat).

Table 8. Volume price of sawn goods according to the knottiness class and top diameter of log u.b. U/s-board. = 100. Grades I...IV of sawn goods are priced separately (battens and boards separately).

Latvaläpimitta — *Top diameter cm*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
15	61,9	13,0	2	61,7	17,2	6	55,0	8,6	14	57,5	11,6	22
17	86,2	30,4	4	58,8	11,6	8	51,9	12,8	35	56,0	17,2	47
19	80,1	22,5	11	61,2	25,0	15	50,4	3,5	27	59,6	20,1	53
21	78,3	33,5	13	59,2	15,6	17	49,0	8,0	26	58,9	21,9	56
23	81,9	26,0	21	62,1	14,4	13	51,8	7,0	28	64,1	21,5	62
25	86,9	25,6	36	67,1	9,3	9	52,5	6,7	25	72,1	24,8	70
27	100,4	28,8	25	73,1	21,0	14	53,5	10,1	13	81,3	30,3	52
29	105,0	30,9	8	66,8	9,5	6	54,3	12,0	10	74,3	29,7	24
31	125,9	23,1	14	77,9	19,0	6	58,4	13,9	6	99,2	36,0	26
33	109,7	26,3	6	85,7	24,0	5	65,6	20,4	2	93,7	28,3	13
35	90,7	13,0	2	—	—	—	65,2	27,3	4	73,7	25,6	6
37	84,6	20,3	4	—	—	—	57,4	—	1	79,1	21,4	5
Yht. — *Total*[1])	92,5	29,5	146	65,6	18,5	100	52,5	10,0	191	68,9	26,8	437

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

takia. Niinpä ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeista saadun sahatavaran keskimääräinen yksikköhinta oli 76 % suurempi kuin kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeista saatu. Ero suureni järeyden lisääntyessä, sillä järeys vaikutti sitä enemmän, mitä paremmista tukeista oli kyse. Vastaava havainto on tehty myös lukuisissa aiemmissa tutkimuksissa (Heiskanen 1951, s. 97—99. Asikainen ja Heiskanen 1970, s. 24, Orvér 1970 a, s. 69, Kärkkäinen 1980). — Kuitenkin myös järeyden eliminoinnin jälkeen oksaisuuslaatuluokan vaikutus oli selvä, kuten oli pääteltävissä vastaavista soiroja ja lautoja koskevista tuloksista.

Absoluuttiset erot olivat aiempiin tuloksiin verrattuna selvät: keskimääräinen yksikköhinta oli korkeampi, samoin vastaava hajonta. Ero oli pieni kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa, mutta kasvoi parempiin tukkeihin siirryttäessä.

Taulukoissa 9...11 on esitetty vastaavat tulokset käytettäessä oksaisuuslaatuluokkien sijasta oksaisuuden ja kaikkien muiden tekijöiden perusteella määriteltyjä tukkien laatuluokkia. Aiemmin tehtyjä johtopäätöksiä ei tässä toisteta. Sitä vastoin on kiintoisaa, miten luokkien suhteet muuttuvat, kun oksaisuuden lisäksi otetaan huomioon muut tekijät.

Ennalta on selvää, että kun ensimmäisestä oksaisuuslaatuluokasta siirtyy tukkeja muiden vikojen vuoksi toiseen ja kolmanteen laatuluokkaan ja toisesta oksaisuuslaatuluokasta samoin muiden vikojen takia kolmanteen laatuluokkaan, keskimääräinen yksikköhinta kohoaa toisessa ja kolmannessa laatuluokassa vastaaviin oksaisuuslaatuluokkiin verrattuna. Ensimmäisessä luokassa ei ilmeisesti tapahdu olennaisia

Taulukko 9. Soirojen yksikköhinta tukin laatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin erikseen.

Table 9. Volume price of battens according to the quality class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I...IV of battens are priced separately.

Latvaläpimitta — *Top diameter cm*	Laatuluokka — *Quality class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
15	78,0	—	1	67,0	15,9	8	59,1	9,7	13	62,8	12,8	22
17	91,5	29,9	4	57,8	3,9	7	56,4	14,2	36	59,6	17,6	47
19	84,6	26,8	5	62,8	11,2	18	59,6	21,1	30	63,1	19,9	53
21	75,0	25,4	11	61,6	17,8	19	52,2	12,7	26	59,9	19,2	56
23	76,3	21,0	17	67,2	20,6	15	57,6	14,3	30	65,0	19,4	62
25	79,7	25,3	28	64,0	9,0	16	53,8	4,8	26	66,5	20,2	70
27	85,9	27,6	20	78,9	22,2	16	58,7	19,0	16	75,4	25,9	52
29	102,3	29,9	8	66,9	10,0	5	55,6	8,8	11	73,5	27,8	24
31	109,0	20,3	11	89,2	41,2	8	66,9	29,5	7	91,6	34,0	26
33	102,0	31,0	4	85,4	20,4	6	73,2	24,8	3	87,7	25,3	13
35	90,2	14,9	2	—	—	—	65,3	24,3	4	73,6	23,8	6
37	83,8	26,0	3	64,9	—	1	60,0	—	1	75,3	21,9	5
Yht. — *Total*[1])	85,9	26,4	114	68,5	20,1	120	57,3	15,6	203	67,9	23,3	437

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

Taulukko 10. Lautojen yksikköhinta tukin laatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin erikseen. Kaikista tukeista ei ole tullut lautatavaraa.

Table 10. Volume price of boards according to the quality class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I...IV of boards are priced separately. Boards were not obtained from every log.

Latvaläpimitta — *Top diameter cm*	Laatuluokka — *Quality class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
15	57,7	—	1	35,0	0,0	8	41,0	7,5	10	39,3	7,5	19
17	56,6	30,5	4	44,6	14,9	7	43,0	16,3	35	44,4	17,6	46
19	56,8	30,4	5	52,1	24,0	18	51,5	25,0	30	52,2	24,7	53
21	94,0	57,2	11	54,8	16,4	19	44,3	4,3	26	57,6	32,3	56
23	84,6	42,8	17	61,0	20,7	15	49,0	21,8	30	61,7	32,1	62
25	112,5	43,9	28	85,7	25,7	16	53,9	23,2	26	84,6	42,0	70
27	124,1	43,8	20	101,0	43,3	16	57,0	25,7	16	96,3	47,5	52
29	115,2	48,0	8	69,2	17,0	5	52,5	18,7	11	76,9	41,3	24
31	154,5	29,7	11	113,1	43,3	8	80,7	45,9	7	121,9	48,5	26
33	141,6	58,0	4	105,4	37,1	6	113,7	59,1	3	118,4	47,6	13
35	91,6	6,8	2	—	—	—	67,0	41,0	4	75,2	34,3	6
37	113,8	13,4	3	64,5	—	1	49,1	—	1	91,0	33,1	5
Yht. — *Total*[1])	108,6	48,5	114	70,8	35,3	120	51,2	24,4	199	71,8	42,2	433

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

Taulukko 11. Sahatavaran yksikköhinta tukin laatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin erikseen (erikseen soirot ja laudat).

Table 11. Volume price of sawn goods according to the quality class and top diameter of log. u.b. U/s-board = 100. Grades I...IV of sawn goods are priced separately (battens and boards separately).

Latvaläpimitta — *Top diameter cm*	Laatuluokka — *Quality class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
15	71,1	—	1	59,8	15,0	8	55,0	8,9	13	57,5	11,6	22
17	86,2	30,4	4	55,3	6,6	7	52,8	13,7	36	56,0	17,2	47
19	75,9	27,4	5	59,7	13,4	18	56,9	21,5	30	59,6	20,1	53
21	81,9	35,2	11	59,1	15,0	19	49,0	8,0	26	58,9	21,9	56
23	79,1	25,7	17	64,8	17,3	15	55,3	15,8	30	64,1	21,5	62
25	90,3	27,4	28	70,7	12,1	16	53,4	8,0	26	72,1	24,8	70
27	96,1	29,0	20	86,0	27,5	16	58,5	20,7	16	81,3	30,3	52
29	105,0	30,9	8	67,9	10,2	5	54,9	11,6	11	74,3	29,7	24
31	120,0	19,9	11	96,7	40,2	8	69,5	32,0	7	99,2	36,0	26
33	109,5	33,5	4	88,6	22,6	6	82,8	33,1	3	93,7	28,3	13
35	90,7	13,0	2	—	—	—	65,2	27,3	4	73,7	25,6	6
37	91,2	19,0	3	64,9	—	1	57,4	—	1	79,1	21,4	5
Yht. — *Total*[1])	92,5	29,3	114	69,3	22,4	120	55,3	16,6	203	68,9	26,8	437

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

muutoksia, joskin voi olettaa keskihinnan lievästi nousevan heikompien sahatavarakappaleiden siirtyessä muihin luokkiin.

Vertaamalla pareittain taulukoita 6 ja 9, 7 ja 10 sekä 8 ja 11 voidaan havaita, että olettamus pitää hyvin paikkansa. Lisäksi hajonta on lisääntynyt voimakkaasti toisessa ja kolmannessa luokassa, kuten on hyvin ymmärrettävissä. — Suurin yksikköhinnan muutos on toisessa luokassa, jossa siirtyminen toisesta oksaisuuslaatuluokasta toiseen laatuluokkaan merkitsee keskimääräisen yksikköhinnan kohoamista kuudella prosentilla. Suurimmillaankaan vaikutus ei ole siis olennaisen merkittävä. Laudoissa saattoi olla suurempiakin muutoksia, kuten seuraavasta jaotelmasta ilmenee, mutta niiden tilavuusosuuden pienuudesta johtuen keskimääräinen vaikutus oli alempi.

Luokka	Laatuluokitustapa	Keskimääräinen yksikköhinta		
		Soirot	Laudat	Sahatavara yht.
1	Oksaisuuslaatuluokka ..	86,1	108,8	92,5
	Laatuluokka	85,9	108,6	92,5
2	Oksaisuuslaatuluokka ..	65,9	64,3	65,6
	Laatuluokka	68,5	70,8	69,3
3	Oksaisuuslaatuluokka ..	54,9	46,8	52,5
	Laatuluokka	57,3	51,2	55,3

Edellä olevat tulokset viittaavat siihen, että pelkän oksaisuusluokituksen käyttäminen täydellisen laatuluokituksen sijasta antaa kohtuullisessa määrin samanlaista informaatiota sahaustuloksen arvon ennustamiseksi. Kun sama johtopäätös tehtiin

myös saannon osalta, tulosten voidaan tulkita tukevan ajatusta, että on mahdollista kehittää pelkkään oksaisuuteen (ja järeyteen) perustuva luokitusmenetelmä: tulosten mukaan ei ole odotettavissa, että muut, tarkastelemattomat viat vaikuttaisivat dramaattisesti luokitustulokseen oksaisuuden jälkeen. — Oksaisuuden merkitys tukin laadun pääselittäjänä on havaittu myös aiemmissa tutkimuksissa (Heiskanen 1954, s. 30, 1955, s. 7, Kärkkäinen 1980).

Kaikki edellä olevat yksikköhintoja koskevat tarkastelut perustuvat taulukoissa 6...11 sahatavaralaatujen I...IV erillishinnoitteluun. Käytännön kannalta on kuitenkin tärkeää tietää tulokset myös em. u/s-laatuja erottelematta, koska tämä vastaa nykyistä käytäntöä vientimyynnissä.

Taulukossa 12 on esitetty soiroja koskevat tulokset käytettäessä oksaisuuslaatuluokitusta. Verrattuna vastaavaan erillishinnoittelutaulukkoon 6 keskimääräinen yksikköhinta on alentunut kaikissa oksaisuuslaatuluokissa ja sitä enemmän, mitä paremmista ja järeämmistä tukeista on kyse. Myös keskihajonta on alentunut selvästi erityisesti parhaissa tukeissa. Muuten johtopäätökset luokittelun onnistumisesta ja järeyden vaikutuksesta ovat edelleen samat kuin mitä edellä esiteltiin.

Aiemman tutkimuksen tuloksiin verrattuna erot ovat supistuneet olennaisesti erillishinnoittelun vastaavaan vertailuun nähden, etenkin kun aineistojen erilainen järeys otetaan huomioon ja tarkastellaan tilannetta läpimittaluokittain. Mitään olennaisia eroja kahden koesahausaineiston välillä ei näytä siis olevan soirojen osalta, kun tarkastellaan saman järeyden ja oksaisuuslaatuluokan omaavia tukkeja.

Taulukko 12. Soirojen yksikköhinta tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla.

Table 12. Volume price of battens according to the knottiness class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I...IV of sawn goods are each priced using the same value.

Latvaläpimitta — *Top diameter cm*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
15	59,7	5,4	2	62,2	6,4	6	58,4	6,6	14	59,5	6,4	22
17	72,0	0,0	4	60,5	6,5	8	54,5	6,4	35	57,0	8,0	47
19	70,9	3,8	11	59,8	7,3	15	54,5	5,2	27	59,4	8,4	53
21	67,4	7,5	13	58,4	6,1	17	51,1	8,9	26	57,1	10,1	56
23	67,3	7,1	21	61,1	6,7	13	53,3	4,5	28	59,7	8,6	62
25	68,1	6,5	36	63,1	5,3	9	53,4	4,1	25	62,2	8,8	70
27	73,8	3,8	25	65,1	10,0	14	54,3	7,9	13	66,6	10,6	52
29	76,0	5,5	8	67,9	9,6	6	55,0	9,4	10	65,2	12,3	24
31	77,0	1,1	14	66,1	9,0	6	56,8	9,7	6	69,8	10,4	26
33	75,6	2,5	6	71,7	9,6	5	62,8	22,3	2	72,2	9,8	13
35	75,4	4,5	2	—	—	—	58,1	10,5	4	63,9	12,2	6
37	71,0	7,5	4	—	—	—	60,0	—	1	68,8	8,1	5
Yht. — *Total*[1])	70,9	6,6	146	62,5	8,0	100	54,3	7,0	191	61,7	10,1	437

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

Taulukossa 13 on esitetty vastaavat tulokset lautojen yksikköhinnoista. Verrattuna vastaavaan erillishinnoittelun tulokseen taulukossa 7 keskimääräinen yksikköhinta on alentunut ja sitä enemmän, mitä paremmista ja järeämmistä tukeista on kyse. Samalla tavalla on alentunut myös keskihajonta. Johtopäätökset eri tekijöiden vaikutuksesta ovat kuitenkin entiset, vain absoluuttinen taso on muuttunut.

Taulukko 13. Lautojen yksikköhinta tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla.
Table 13. Volume price of boards according to the knottiness class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I...IV of sawn goods are priced using the same value.

Latvaläpimitta — *Top diameter cm*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
15	46,3	16,0	2	35,0	0,0	6	40,4	7,3	11	39,3	7,5	19
17	50,5	19,3	4	48,4	21,7	8	40,3	8,5	34	42,6	12,9	46
19	57,2	18,0	11	49,3	17,0	15	43,5	4,8	27	48,0	13,3	53
21	70,2	22,7	13	52,1	12,1	17	44,4	4,6	26	52,7	16,4	56
23	68,6	21,2	21	53,8	14,7	13	43,6	4,6	28	54,2	17,9	62
25	79,8	17,3	36	70,0	16,9	9	47,9	7,7	25	67,2	20,6	70
27	87,7	12,9	25	67,3	18,4	14	49,0	9,3	13	72,5	21,1	52
29	89,2	10,7	8	62,1	9,9	6	50,3	12,8	10	66,2	20,5	24
31	98,0	5,4	14	70,7	17,6	6	57,2	15,6	6	82,3	21,1	26
33	91,6	12,1	6	80,9	12,0	5	69,6	0,4	2	84,1	13,3	13
35	86,7	7,4	2	—	—	—	53,9	14,7	4	64,8	20,7	6
37	81,8	13,8	4	—	—	—	49,1	—	1	75,3	18,9	5
Yht. — *Total*[1])	78,6	20,3	146	57,5	18,4	100	45,2	8,9	187	59,3	21,5	433

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes*

Taulukko 14. Sahatavaran yksikköhinta tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan yksikköhinta on 100. Sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla (erikseen soirot ja laudat).
Table 14. Volume price of sawn goods according to the knottiness class and top diameter of log u.b. U/s-board = 100. Grades I...IV of sawn goods are each priced using the same value (battens and boards separately).

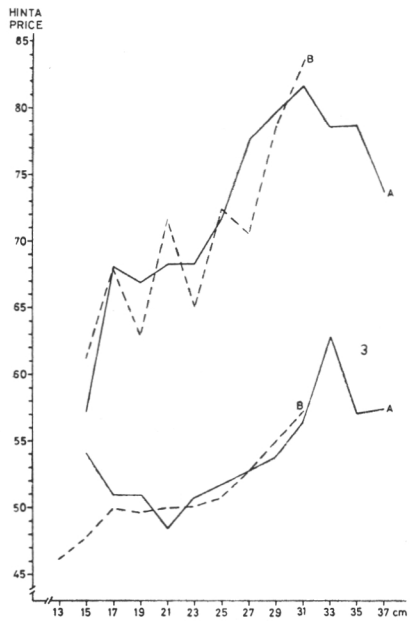
Latvaläpimitta — *Top diameter cm*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
15	57,1	6,3	2	55,7	7,2	6	54,0	5,2	14	54,7	5,6	22
17	68,0	5,4	4	57,2	8,0	8	50,9	6,1	35	53,4	8,1	47
19	66,8	4,9	11	56,9	8,5	15	50,9	4,4	27	55,9	8,5	53
21	68,2	12,0	13	56,6	6,5	17	48,4	5,8	26	55,5	11,0	56
23	68,2	9,7	21	58,9	7,4	13	50,7	4,2	28	58,3	10,5	62
25	71,7	8,0	36	65,4	6,4	9	51,7	4,1	25	63,7	11,3	70
27	77,6	5,5	25	65,7	11,8	14	52,7	8,0	13	68,2	13,1	52
29	79,6	5,9	8	66,4	8,4	6	53,7	10,1	10	65,5	14,0	24
31	81,6	2,0	14	68,1	10,3	6	56,3	10,6	6	72,6	12,6	26
33	78,5	2,8	6	73,5	9,7	5	62,8	17,2	2	74,2	9,5	13
35	78,6	1,3	2	—	—	—	57,0	11,2	4	64,1	14,0	6
37	73,6	9,1	4	—	—	—	57,4	—	1	70,4	10,7	5
Yht. — *Total*[1])	73,0	8,9	146	61,2	9,6	100	51,6	6,4	191	60,9	12,3	437

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes.*

Erot aiemman tutkimuksen tuloksiin ovat supistuneet merkityksettömän pieniksi, siis samoin kuin soirojen osalta. Tulos osoittaa, että sahatukkien oksaisuuden perusteella tehty luokittelu antaa suhteellisen stabiileja tuloksia myös laudoille. Itse asiassa tämä oli odotettavissa jopa paremmin kuin soirojen osalta, koska laudat tehdään tukkien pintaosista, jotka korreloivat paremmin tukin ulkoisen laadun kanssa kuin näkymättömiin jäävät sisäosat.

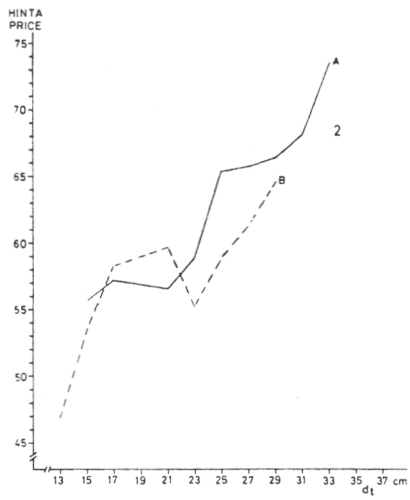
Taulukossa 14 on esitetty vastaavasti kaikkea sahatavaraa koskevat tulokset, joista tehtävät johtopäätökset ovat samat kuin edellä: erillishinnoitteluun verrattuna (taulukko 8) yksikköhinta on alentunut ja sitä enemmän, mitä paremmasta tukin oksaisuuslaadusta ja järeämmistä tukeista on kyse. Hajonta on supistunut vastaavalla tavalla.

Vertailu aiemman tutkimuksen tuloksiin on tehty oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan kuvissa 1 (oksaisuuslaatuluokat 1 ja 3) ja 2 (oksaisuuslaatuluokka 2). Tulokset ovat niin yhdenmukaisia kuin ne yleensä voivat olla asian



Kuva 1. Sahatavaran yksikköhinta (u/s-lauta = 100) kuorettoman latvaläpimitan mukaan ensimmäisen (1) ja kolmannen (3) oksaisuuslaatuluokan tukeissa tässä (A) ja aiemmassa (B) tutkimuksessa. Sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla (erikseen soirot ja laudat).

Fig. 1. Volume price of sawn goods (u/s-board = 100) according to the top diameter under bark of the logs of the first (1) and third (3) knottiness class in this (A) and previous (B) study. Grades I... IV of sawn goods are each priced using the same value (battens and boards separately).



Kuva 2. Sahatavaran yksikköhinta (u/s-lauta = 100) kuorettoman latvaläpimitan mukaan toisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa tässä (A) ja aiemmassa (B) tutkimuksessa. Sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla (erikseen soirot ja laudat).

Fig. 2. Volume price of sawn goods (u/s-board = 100) according to the top diameter under bark of the logs of the second knottiness class in this (A) and previous (B) study. Grades I... IV of sawn goods are each priced using the same value (battens and boards separately).

luonteen huomioon ottaen, itse asiassa vähän liian hyviä ajatellen oksaisuuslaatuluokituksen subjektiivisuutta käytännön oloissa. Joka tapauksessa tulokset osoittavat ainakin tutkitun kahden aineiston osalta, että oksaisuuslaatuluokka antaa suhteellisen stabiilia informaatiota sahatavaran odotettavissa olevasta laadusta käytettäessä vientimyynnissä tavanomaista sahatavaran laatuluokitusta, jolloin u/s-laatu myydään erittelemättömänä. — Sitä vastoin, kuten erillishinnoittelun tulosten vertailu osoitti, sisäinen u/s-laadun jakauma saattaa poiketa melkoisesti erästä toiseen.

33. Sahatavaran laatujakauma

Vaikka sahatavaran yksikköhinta olisi erilaisissa tukeissa sama, laatujakauma saattaa olla erilainen. Tämän vuoksi on tarpeen tarkastella myös laatujakaumaa, jolloin tulokset voidaan muuntaa mielivaltaisille eri laatujen välisille hintasuhteille. Samalla havaitaan eri laatujen runsaussuhteet, mikä on tarpeellinen tieto mm. pohdittaessa mahdollisuuksia erotella jokin sahatavaralaatu tai -laadut muista erilleen.

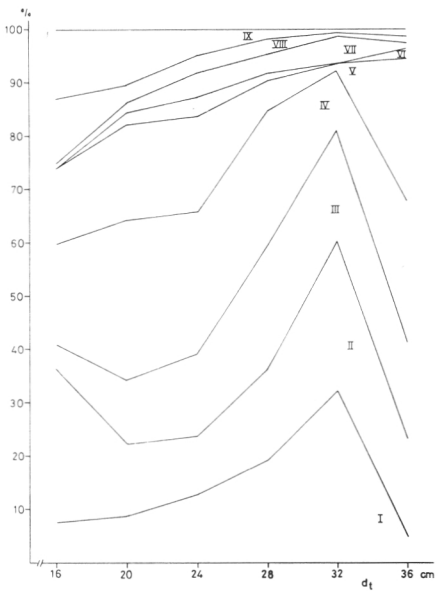
Kuvissa 3...6 on esitetty kaiken sahatavaran (soirot ja laudat yhdessä) laatujakauma tukkien oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman läpimitan mukaan.

Kuvan 3 mukaan ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa priiman osuus kasvaa ja muiden u/s-laatujen suhteellinen osuus alenee aina 32 cm läpimittaluokkaan saakka. Tämän jälkeen laatu heikkenee, selvimmin priiman osalta, mutta myös koko u/s-laadun osuus vähenee. — Tätä ei ole pidettävä epätodennäköisenä ilmiönä yleistettävyydeltään, sillä mm. ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukkien osuus alkaa vähentyä tukkien tullessa ylijäreiksi (Kärkkäinen 1980). Selityksenä saattaa olla, että hyvin suuri järeys on edellyttänyt hyvää kasvua, ja hyvään kasvuun liittyy välttämättömänä ehtona myös riittävä oksamassa ja vastaavasti suuri oksaisuus. Tätä johtopäätöstä tukee myös Heiskasen (1965) tulos, jonka mukaan iän vakioinnin jälkeen paras laatu on keskikokoisissa rungoissa. — Mainittakoon tässä yhteydessä, että runkojen ikä vaihteli vain vähän rungon koon mukaan. Näin ollen järeät tukit tulivat nopeakasvuisista rungoista.

Toisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa (kuva 4) ei ollut järeintä läpimittaluokkaa, joten vastaavasta ilmiöstä ei ole tietoa. Muuten kuvaajat noudattelevat samoja linjoja kuin ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa vain tason ollessa alemman kunkin laadun osalta.

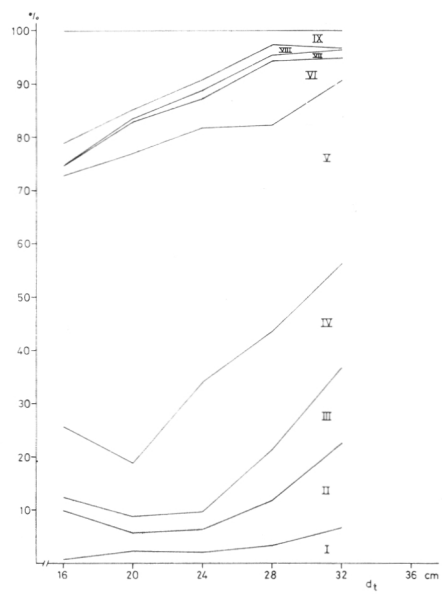
Kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa (kuva 5) voidaan jälleen havaita u/s-sahatavaran osuuden lasku määräajan jälkeen, siis samoin kuin parhaissa tukeissa. Sekstan osuus on järeissä tukeissa hallitsevampi kuin kvintan, mikä viittaa kuivien ja mahdollisesti lahojen oksien runsaaseen esiintymiseen.

Kuvassa 6 on esitetty lajittelemattomia tukkeja koskevat tulokset läpimitan mukaan. Määrärajaan saakka u/s-laatujen ja erityisesti sen parhaiden laatujen osuus nousee, sitten laskee. Vastaavasti kvintan osuus laskee samaan määrärajaan saakka, sitten taas kohoaa. Sekstan osuus pysyy likimain samana läpimitasta riippumatta. Vajaasärmälaatujen osuus laskee jatkuvasti, kuten on luonnollistakin.



Kuva 3. Sahatavaran laatujakauma I...VI sekä laadut oksaton vajaasärmä (VII), höylävajaasärmä (VIII) ja vientivajaasärmä (IX) ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 3. Grades I...VI and wane grades VII... IX of sawn goods from the logs of the first knottiness class according to the top diameter u.b. of log.



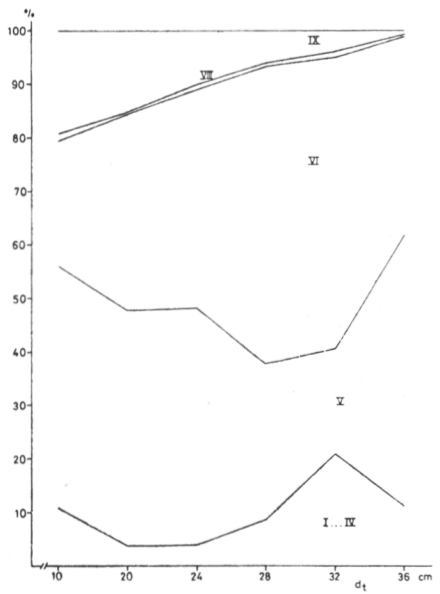
Kuva 4. Sahatavaran laatujakauma I...VI sekä laadut oksaton vajaasärmä (VII), höylävajaasärmä (VIII) ja vientivajaasärmä (IX) toisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 4. Grades I...VI and wane grades VII... IX of sawn goods from the logs of the second knottiness class according to the top diameter u.b. of log.

Aiemman tutkimuksen tuloksiin verrattuna suurin ero on u/s-laadun sisäisessä jakaumassa. Kaikissa oksaisuuslaatuluokissa u/s-sahatavaraa oli hieman enemmän ja se oli laadultaan parempaa kuin aiemmassa tutkimuksessa. — Kun erillishinnoittelussa parhaat laadut arvostettiin korkealle, on ymmärrettävää, että sitä käytettäessä saatiin suuri ero eri tutkimusten välille.

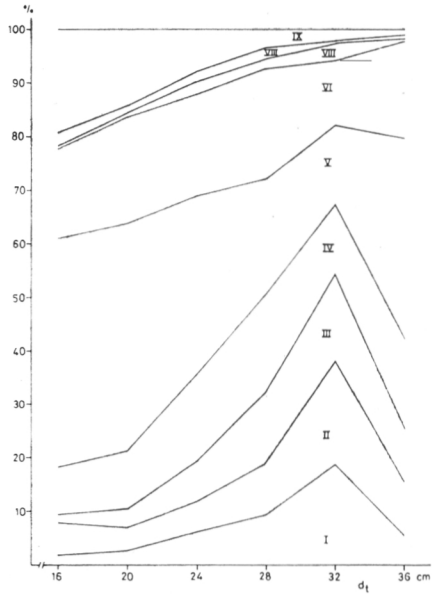
Kuvissa 7...9 on tarkasteltu laatujakaumaa tukin oksaisuuslaatuluokan mukaan erottelemalla soirot ja laudat. Kuvan 7 mukaan kaikkia sahatavaralaatuja on kaikissa tukkien oksaisuuslaatuluokissa, mutta sisäinen jakauma muuttuu voimakkaasti. Sama on havaittavissa lautojen osalta kuvasta 8, jossa huomiota kiinnittää sekstan osuuden voimakas kasvu tukin oksaisuuslaadun heiketessä. Koko sahatavaraa koskevat tulokset on esitetty kuvassa 9.

Aiempaan tutkimukseen verrattuna suurimmat erot ovat ensimmäisessä oksaisuuslaatuluokassa, erityisesti soiroissa. Eräin osin laudat olivat aiemmassa tutkimuksessa jopa parempia kuin nyt käsillä olevassa tutkimuksessa. Kaikkea sahatavaraa koskevat tulokset ovat rakenteeltaan sangen yhdenmukaisia lukuun ottamatta erityisesti u/s-laadun sisäistä jakaumaa.



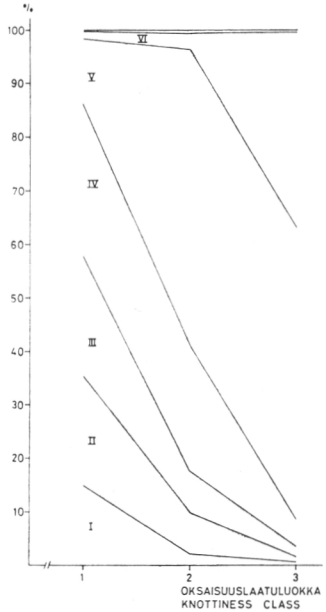
Kuva 5. Sahatavaran laatujakauma I...VI sekä laadut höylävajaasärmä (VIII) ja vientivajaasärmä (IX) kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 5. Grades I...VI and wane grades VIII and IX of sawn goods from the logs of the third knottiness class according to the top diameter u.b. of log.



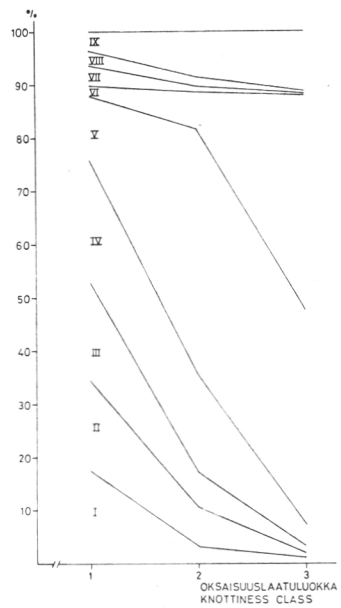
Kuva 6. Sahatavaran laatujakauma I...VI sekä laadut oksaton vajaasärmä (VII), höylävajaasärmä (VIII) ja vientivajaasärmä (IX) kuorettoman latvaläpimitan mukaan.

Fig. 6. Grades I...VI and wane grades VII... IX of sawn goods according to the top diameter u.b. of log.



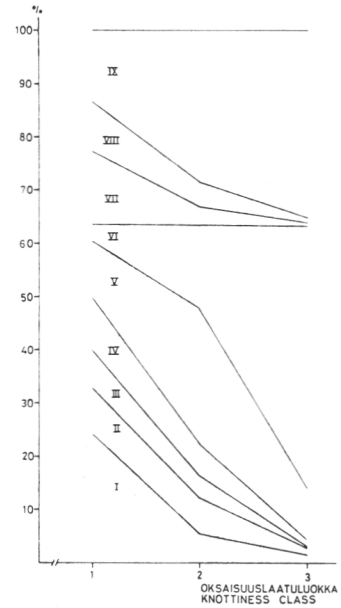
Kuva 7. Soirojen laatujakauma I...VI sekä vajaasärmä tukin oksaisuuslaatuluokan mukaan.

Fig. 7. Grades I...VI and the wane grade of battens according to the knottiness class of log.



Kuva 8. Lautojen laatujakauma I...VI sekä laadut oksaton vajaasärmä (VII), höylävajaasärmä (VIII) ja vientivajaasärmä (IX) tukin oksaisuuslaatuluokan mukaan.

Fig. 8. Grades I...VI and wane grades VII... IX of boards according to the knottiness class of log.



Kuva 9. Sahatavaran laatujakauma I...VI sekä laadut oksaton vajaasärmä (VII), höylävajaasärmä (VIII) ja vientivajaasärmä (IX) tukin oksaisuuslaatuluokan mukaan.

Fig. 9. Grades I...VI and wane grades VII... IX of sawn goods according to the knottiness class of log.

34. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti

Kun samanaikaisesti otetaan huomioon saanto ja sahatavaran yksikköhinta, saadaan sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti. Jäljempänä tarkastellaan kaikkea sahatavaraa soiroja ja lautoja erottelematta. Mikäli myös niitä koskevat tiedot tarvitaan, ne voidaan laskea aiemmin esitetyistä saanto- ja yksikköhintataulukoista. Samoin jaottelu tehdään pelkästään oksaisuuslaadun (ja läpimitan) mukaan. Laatuluokkien tulokset voidaan tarvittaessa laskea vastaavista saanto- ja yksikköhintataulukoista.

Tulosten oikeaksi tulkitsemiseksi on huomattava, että saantoluvut on saatu kenttäpyörösahaa käytettäessä. Ne eivät siis välttämättä ole yleistettävissä laajalti, joskaan olennaisia eroja kehäsahaukseen ei kuitenkaan liene. Aikaisempaan tutkimukseen verrattuna saanto oli käsillä olevassa tutkimuksessa korkeampi. Jo tämän vuoksi sahatavaran arvo tukin tilavuutta kohti on korkeampi.

Taulukossa 15 on esitetty erillishinnoittelua ja Newtonin kaavalla laskettua tukin tilavuutta koskevat tulokset, kun u/s-laudan yksikköhintaa merkittiin luvulla 10 000. — Vastaavaan yksikköhintataulukkoon verrattuna oksaisuuslaatuluokkien erot ovat

Taulukko 15. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan arvo sahatavaran tilavuusyksikköä kohti on 10 000. Tukin kuorellinen tilavuus on laskettu Newtonin kaavalla. Sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin erikseen (erikseen soirot ja laudat).

Table 15. Price of sawn goods per log volume according to the knottiness class and top diameter of log. u.b. Price of u/s-board per sawn goods volume is 10 000. Log volume incl. bark is based on Newton rule. Grades I...IV of sawn goods are priced separately (battens and boards separately).

Latvaläpimitta *Top diameter cm*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	n	n
15	3 333	1 341	2	3 161	726	6	2 881	510	14	2 999	632	22
17	4 044	1 522	4	3 135	790	8	2 823	1 495	34	2 984	1 419	46
19	3 803	1 249	10	3 241	1 134	15	2 827	279	27	3 134	899	52
21	3 632	1 116	12	3 389	894	16	2 674	702	25	3 107	949	53
23	4 151	1 432	21	3 494	928	13	2 839	491	28	3 421	1 135	62
25	4 402	1 141	35	3 340	492	9	2 881	530	25	3 712	1 138	69
27	5 209	1 494	25	3 876	1 117	14	2 935	540	13	4 282	1 539	52
29	5 649	2 028	8	3 364	903	6	3 095	826	10	4 014	1 761	24
31	6 299	1 549	14	3 477	410	6	3 058	829	6	4 900	1 953	26
33	5 628	1 159	6	3 988	1 617	5	3 435	547	2	4 660	1 537	13
35	4 377	711	2	—	—	—	3 334	648	4	3 681	802	6
37	4 182	1 207	4	—	—	—	2 859	—	1	3 918	1 201	5
Yht. — *Total*[1]) ..	4 675	1 546	143	3 445	942	99	2 865	806	189	3 599	1 380	431

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes.*

hieman kaventuneet, koska saanto aleni tukin laadun parantuessa. Vaikutus ei ollut kuitenkaan suuri: sahatavaran arvo tukin tilavuutta kohti on edelleen parhaissa tukeissa yli 60 % suurempi kuin kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa. Myös järeyseron eliminoinnin jälkeen oksaisuuslaatuluokkien erot ovat huomattavat.

Standardipoikkeamatulosten mukaan sahatavaran arvo tukin tilavuutta kohti vaihtelee sitä enemmän, mitä paremmasta tukista oli kyse.

Aiemman tutkimuksen tuloksiin verrattuna arvotaso oli korkeampi ja vaihtelu sekä oksaisuuslaatuluokkien välillä että sisällä suurempi. Etenkin ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa arvoero oli huomattava, yli 30 % aiemmista tuloksista. Syynä oli vähäiseltä osin saantoero ja pääasiallisesti se, että käsillä olevassa tutkimuksessa sahatavaran laatujakauma oli samanlaisiksi arvostelluista tukeista olennaisesti parempi.

Taulukossa 16 on esitetty vastaavat tulokset tukin taulukkotilavuutta kohti. Edelliseen taulukkoon verrattuna arvo on kaikissa oksaisuuslaatuluokissa alhaisempi. Muuten edellä esitetyt johtopäätökset ovat samat.

Vastaavat sahatavaralaatujen I...IV yhtenäishinnoittelua koskevat tulokset on esitetty taulukoissa 17 ja 18. Erillishinnoitteluun verrattuna arvo oli likimain sama kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa, mutta toisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa jonkin verran ja ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa selvästi alhaisempi. Syitä on jo käsitelty sahatavaran yksikköhinnan ja laatujakauman tarkastelun yhteydessä.

Taulukko 16. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan. U/s-laudan arvo sahatavaran tilavuusyksikköä kohti on 10 000. Tukin kuorellinen tilavuus on otettu taulukosta. Sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin erikseen (erikseen soirot ja laudat).

Table 16. Price of sawn goods per log volume according to the knottiness class and top diameter of log u.b. Price of u/s-board per sawn goods volume is 10 000. Log volume incl. bark is based on table. Grades I...IV of sawn goods are priced separately (battens and boards separately).

Latvaläpimitta *Top diameter cm*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
15	3 339	1 002	2	3 032	615	6	2 934	646	14	2 998	641	22
17	3 666	1 063	4	2 934	566	8	2 794	1 462	35	2 892	1 327	47
19	3 887	1 363	11	3 092	1 207	15	2 798	282	27	3 107	984	53
21	3 891	1 526	13	3 147	784	17	2 534	631	26	3 035	1 079	56
23	4 044	1 458	21	3 073	644	13	2 644	430	28	3 208	1 119	62
25	4 176	1 242	36	3 101	505	9	2 686	471	25	3 506	1 178	70
27	5 019	1 442	25	3 655	1 141	14	2 764	468	13	4 088	1 512	52
29	5 250	1 745	8	3 285	765	6	2 736	752	10	3 711	1 600	24
31	5 995	1 458	14	3 318	679	6	2 869	788	6	4 656	1 876	26
33	5 258	1 418	6	3 874	1 684	5	2 972	568	2	4 374	1 623	13
35	4 490	32	2	—	—	—	3 106	1 176	4	3 567	1 158	6
37	4 085	892	4	—	—	—	2 805	—	1	3 829	961	5
Yht. — *Total*[1]) ..	4 508	1 504	146	3 228	907	100	2 739	790	191	3 442	1 349	437

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes.*

Taulukko 17. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan, kun u/s-laudan arvo on sahatavaran tilavuusyksikköä kohti 10 000. Laadut I...IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla (erikseen soirot ja laudat). Tukin kuorellinen tilavuus on laskettu Newtonin kaavalla.

Table 17. Price of sawn goods per log volume according to the knottiness class and top diameter of log. Price of u/s-board per sawn goods volume is 10 000. Grades I...IV are priced each using the same value (battens and boards separately). Log volume with bark is based on Newton rule.

Latvaläpimitta *Top diameter cm*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n	x̄	s	n
15	3 045	933	2	2 874	330	6	2 835	442	14	2 865	438	22
17	3 193	386	4	3 039	563	8	2 711	778	34	2 810	730	46
19	3 196	432	10	3 038	379	15	2 850	309	27	2 971	374	52
21	3 415	481	12	3 259	395	16	2 634	596	25	3 000	619	53
23	3 449	599	21	3 296	459	13	2 777	382	28	3 114	567	62
25	3 641	483	35	3 265	467	9	2 834	413	25	3 299	585	69
27	4 048	537	25	3 496	697	14	2 893	449	13	3 610	732	52
29	4 247	633	8	3 341	856	6	3 062	717	10	3 527	875	24
31	4 050	427	14	3 077	208	6	2 947	684	6	3 571	691	26
33	4 056	190	6	3 397	955	5	3 296	399	2	3 686	679	13
35	3 770	135	2	—	—	—	3 003	220	4	3 259	435	6
37	3 631	671	4	—	—	—	2 859	—	1	3 477	676	5
Yht. — *Total*[1])	3 706	588	143	3 225	537	99	2 808	535	189	3 202	677	431

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes.*

Taulukko 18. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti tukin oksaisuuslaatuluokan ja kuorettoman latvaläpimitan mukaan, kun u/s-laudan arvo on sahatavaran tilavuusyksikköä kohti 10 000. Laadut I...IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla (erikseen soirot ja laudat). Tukin kuorellinen tilavuus on otettu taulukosta.

Table 18. Price of sawn goods per log volume according to the knottiness class and top diameter of log. Price of u/s-board per sawn goods volume is 10 000. Grades I...IV of sawn goods are priced using the same value (battens and boards separately). Log volume with bark is from the table.

Latvaläpimitta *Top diameter cm*	Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*									Yhteensä — *Total*		
	1			2			3					
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
15	3 067	616	2	2 769	339	6	2 885	572	14	2 870	505	22
17	2 948	282	4	2 859	424	8	2 687	772	35	2 738	694	47
19	3 201	448	11	2 890	539	15	2 820	301	27	2 919	429	53
21	3 407	477	13	3 017	372	17	2 501	552	26	2 868	606	56
23	3 350	632	21	2 919	317	13	2 587	318	28	2 915	557	62
25	3 453	566	36	3 035	510	9	2 642	354	25	3 110	615	70
27	3 899	494	25	3 285	690	14	2 726	390	13	3 440	715	52
29	3 976	593	8	3 262	707	6	2 707	659	10	3 269	835	24
31	3 854	367	14	2 917	401	6	2 763	643	6	3 386	674	26
33	3 744	243	6	3 281	966	5	2 850	436	2	3 428	683	13
35	3 905	469	2	—	—	—	2 729	452	4	3 121	732	6
37	3 591	719	4	—	—	—	2 805	—	1	3 434	715	5
Yht. — *Total*[1]	3 561	573	146	3 020	526	100	2 684	519	191	3 054	660	437

[1]) Mukana myös muiden läpimittaluokkien tukit — *Includes even other diameter classes.*

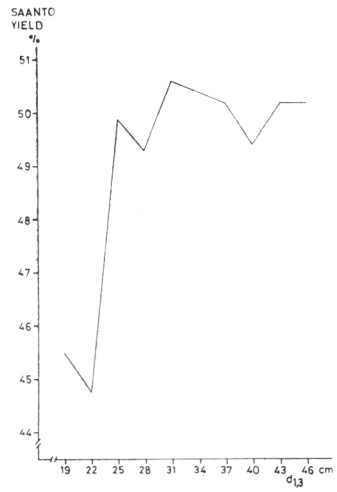
Kiintoisaa on, että tukkien välinen hajonta on samalla pienentynyt voimakkaasti. Se jäi kuitenkin edelleen hieman suuremmaksi kuin aiemmassa tutkimuksessa. Tämä viittaa siihen, että rannikkoseudun mäntytukkien laadun ennustaminen saattaa olla epätarkempaa kuin sisämaan tukkien.

Myös yhtenäishinnoittelua käytettäessä nyt saadut tulokset sahatavaran arvosta tukin tilavuutta kohti olivat korkeammalla tasolla kuin aiemmassa tutkimuksessa. Erot olivat ilmeiset myös järeyserojen eliminoinnin jälkeen. Suurimmat aineistojen erot olivat ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa.

35. Rungoittainen tarkastelu

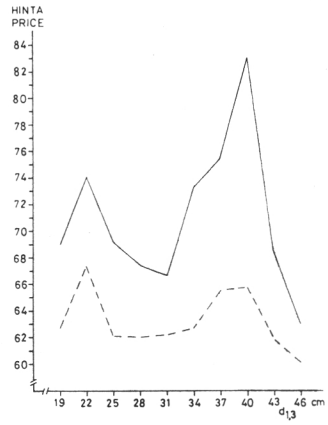
Kuten aineiston selostamisen yhteydessä mainittiin, jokaisesta sahatusta tukista oli tiedossa, mistä rungosta se oli peräisin. Näin ollen sahaustulokset on mahdollista esittää myös rungon tunnusten mukaan. — Jäljempänä käytetään eri tunnuksista yksinomaan rinnankorkeusläpimittaa, joka antaa mielikuvan puun koosta. Kuten aiemmin mainittiin, ikä ei vaihdellut paljon rungon koon mukaan. Näin ollen runkojen kokoerojen syynä olivat kasvunopeuserot.

Kuvassa 10 on esitetty tukkiosan tilavuudesta lasketun saannon riippuvuus rungon koosta. Pienimpiä runkoja lukuunottamatta saantotaso oli likimain vakio. Samankaltainen tulos saatiin aiemmassa tutkimuksessa.



Kuva 10. Sahatavarasaannon (% tukkiosan tilavuudesta) riippuvuus rungon rinnankorkeusläpimitasta.

Fig. 10. Yield of sawn goods (in per cent of timber volume) according to the breast height diameter of stem.



Kuva 11. Soirojen yksikköhinnan riippuvuus rungon rinnankorkeusläpimitasta. U/s-lauta = 100. Ehyt viiva: sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin erikseen. Katkoviiva: sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla.

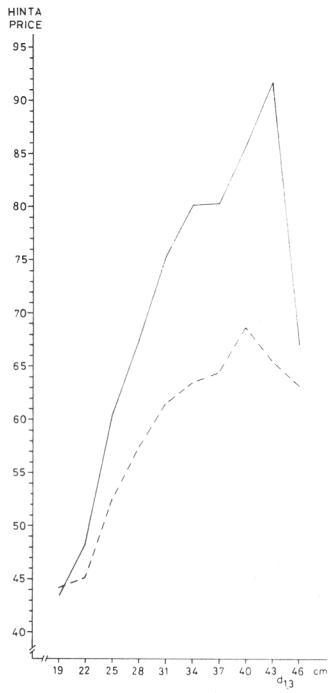
Fig. 11. Volume price of battens according to the breast height diameter of stem. U/s-board = 100. Solid line: Grades I...IV of sawn goods are priced separately. Broken line: Grades I...IV are priced using the same value.

Soirojen keskimääräinen yksikköhinta rungon rinnankorkeusläpimitan mukaan on esitetty kuvassa 11, kun laadut I...IV hinnoiteltiin erikseen tai samalla arvolla. Mitään selvää trendiä ei ole, joskin erillishinnoittelua käytettäessä saavutetaan selvä maksimi verraten järeissä rungoissa. Keskimääräinen yksikköhinta kuitenkin alkaa jälleen laskea ylijäreisiin puihin siirryttäessä. Kun u/s-laadut hinnoiteltiin yleisen myyntikäytännön mukaisesti samalla arvolla, yleinen trendi on vaakasuora tai hiukan laskeva.

Aiemman tutkimuksen tuloksiin verrattuna absoluuttinen taso on korkeammalla erityisesti pienissä rungoissa. Hinnoitteluvaihtoehtojen ero on olennaisesti suurempi käsillä olevassa tutkimuksessa, mikä kuvaa u/s-laadun sisäisen jakauman selvää paremmuutta.

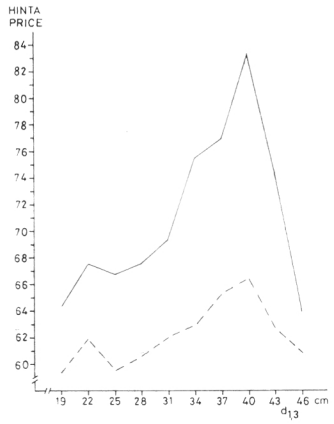
Kuvassa 12 on esitetty vastaavat tulokset lautojen yksikköhinnasta. Rungon rinnankorkeusläpimitan kasvaessa yksikköhinta nousee jyrkästi määrärajaan saakka, jonka jälkeen se alkaa jälleen laskea. Yhtenäishinnoittelua käytettäessä aleneminen alkaa hiukan aiemmin kuin erillishinnoittelussa.

Aiemmassa tutkimuksessa saatiin likimain samanlaiset tulokset, joskin nyt oli hinnoitteluvaihtoehtojen ero hieman suurempi. Aiemmassa tutkimuksessa ei kui-



Kuva 12. Lautojen yksikköhinnan riippuvuus rungon rinnankorkeusläpimitasta. U/s-lauta = 100. Ehyt viiva: sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin erikseen. Katkoviiva: sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla.

Fig. 12. Volume price of boards according to the breast height diameter of stem. U/s-board = 100. Solid line: Grades I...IV of sawn goods are priced separately. Broken line: Grades I...IV are priced using the same value.

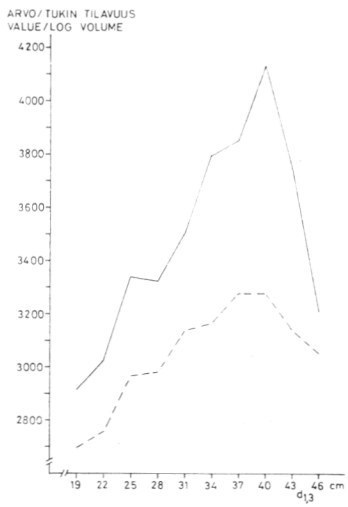


Kuva 13. Sahatavaran yksikköhinnan riippuvuus rungon rinnankorkeusläpimitasta. U/s-lauta = 100. Ehyt viiva: sahatavaralaadut I... IV on hinnoiteltu kukin erikseen. Katkoviiva: sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla (erikseen soirot ja laudat).

Fig. 13. Volume price of sawn goods according to the breast height diameter of stem. U/s-board = 100. Solid line: Grades I...IV of sawn goods are priced separately. Broken line: Grades I...IV are priced using the same value (battens and boards separately).

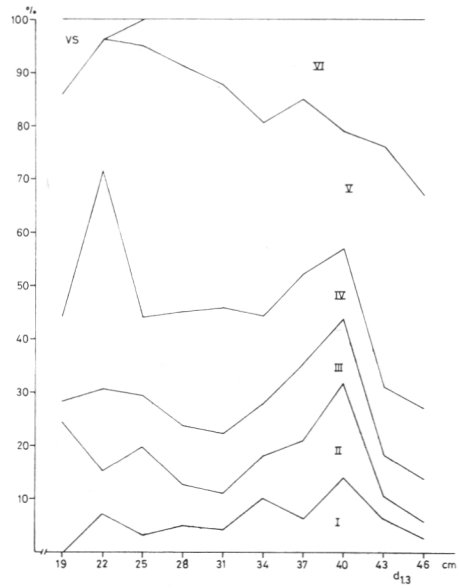
tenkaan havaittu yksikköhinnan laskevan ylijäreisiin puihin siirryttäessä mahdollisesti siitä syystä, että maksimaalinen rinnankorkeusläpimitta oli tuolloin 41 cm eli olennaisesti pienempi kuin nyt tutkitussa aineistossa.

Keskimääräisen sahatavaran yksikköhinnan riippuvuus rungon rinnankorkeusläpimitasta on esitetty kuvassa 13. Lautojen vaikutuksen vuoksi hinta kohoaa määrärajaan saakka ja alkaa sitten jälleen laskea. Hinnoitteluvaihtoehtojen ero on suuri hyvästä u/s-laadun sisäisestä jakaumasta johtuen. Aiemmassa tutkimuksessa ero oli pienempi ja yksikköhinnan taso matalammalla erityisesti pienten runkojen ollessa kyseessä. Kokonaisuuteen katsoen erot eivät olleet kuitenkaan suuret, kun u/s-sahatavaralle käytettiin yhtenäishintaa (erikseen soiroille ja laudoille).



Kuva 14. Sahatavaran arvo tukin tilavuusyksikköä kohti rungon rinnankorkeusläpimitan mukaan. U/s-laudan arvo on sahatavaran tilavuusyksikköä kohti 10 000. Ehyt viiva: sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin erikseen. Katkoviiva: sahatavaralaadut I...IV on hinnoiteltu kukin samalla arvolla (erikseen soirot ja laudat).

Fig. 14. Value of sawn goods per log volume according to the breast height diameter of stem. Price of u/s-board per sawn goods volume is 10 000. Solid line: Grades I...IV of sawn goods are priced separately. Broken line: Grades I...IV are priced using the same value (battens and boards separately).



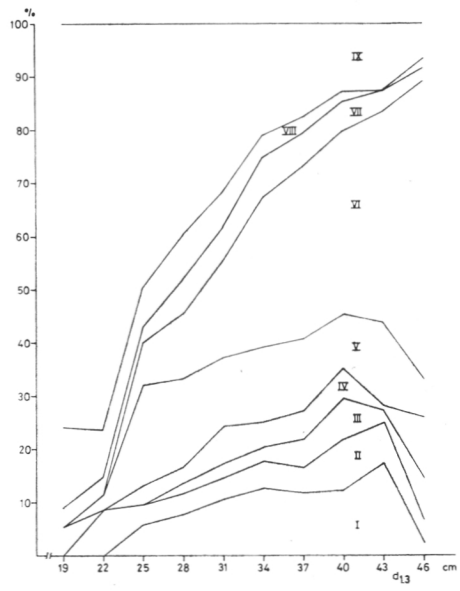
Kuva 15. Soirojen laatujakauma I...VI sekä vajaasärmä (VS) rungon rinnankorkeusläpimitan mukaan.

Fig. 15. Grades I...VI and wane grade (VS) of battens according to the breast height diameter of stem.

Kun samanaikaisesti otettiin huomioon saanto ja yksikköhinta, saatiin kuvassa 14 esitetty tulos. Myös tällöin havaitaan tukkiosan tilavuutta kohti lasketun sahatavaran arvon kohoavan puun suuretessa määrärajaan saakka ja sitten laskevan. Aiemmassa tutkimuksessa oli hinnoitteluvaihtoehtojen ero pienempi ja tilavuutta kohti laskettu sahatavaran arvo alhaisempi, joskin olennaisia eroja oli vain pienten runkojen osalta.

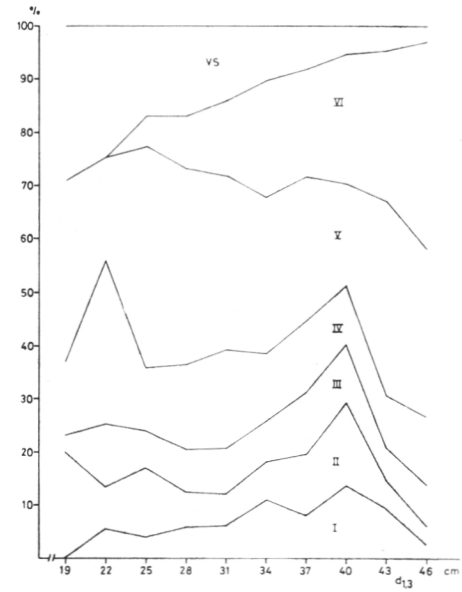
Yleisesti ottaen voidaan kuitenkin sanoa eri aineistojen tulosten olevan riittävän yhdenmukaisia siltä osin kun ne perustuvat samankokoisiin runkoihin, kun u/s-laatu hinnoitellaan yhtenäisellä hinnalla. Erillishinnoittelua käytettäessä käsillä olevan tutkimuksen tulokset ovat selvästi korkeammalla tasolla.

Samoin kuin tukeista, myös rungoista selvitettiin laatujakaumat. Ne on esitetty kuvissa 15...17. Johtopäätökset ovat samat kuin yksikköhinnan osalta: määrärajaan saakka jakauma paranee, sitten taas laskee. Kiintoisin ero on soirojen ja lautojen välillä:



Kuva 16. Lautojen laatujakauma I...VI sekä laadut oksaton vajaasärmä (VII), höylävajaasärmä (VIII) ja vientivajaasärmä (IX) rungon rinnankorkeusläpimitan mukaan.

Fig. 16. Grades I...VI and wane grades VII... IX of boards according to the breast height diameter of stem.



Kuva 17. Sahatavaran laatujakauma I...VI sekä vajaasärmä (VS) rungon rinnankorkeusläpimitan mukaan.

Fig. 17. Grades I...VI and wane grade (VS) of sawn goods according to the breast height diameter of stem.

järeytyminen vaikuttaa soiroihin suhteellisesti vähemmän kuin lautoihin, kuten onkin ymmärrettävää.

Aiempaan tutkimukseen verrattuna kuvaajien yleissuunta on sama, joskaan alenevaa trendiä määrärajan jälkeen ei tuolloin havaittu ilmeisesti runkojen pienemmästä maksimikoosta johtuen. Sitä vastoin jakauman yleistaso oli nyt hiukan parempi.

36. Leimikoittaiset tulokset

Kuten aineiston kuvauksen yhteydessä mainittiin, yksi leimikko oli huonoa, toinen keskinkertaista ja kolmas hyvää laatutasoa. Aiemman tutkimuksen tuloksena syntynyttä laadunmääritysmenetelmää voidaan näin ollen hyvin kokeilla aineistoon.

Taulukossa 19 ovat tärkeimmät tutkimusleimikkojen runkojen keskimääräiset tunnukset. Järeys, kapeneminen ja pituus ovat samaa luokkaa, eivätkä ne näin ollen voine vaikuttaa olennaisesti tuloksiin. Vioista lenkous on keskimäärin likimain sama, joskin muista poikkeaa eniten epäedukseen keskimääräinen leimikko. Elävien oksien perusteella määritelty oksaisuus on samoin samaa tasoa. Tämä tukee aikaisemmassa

Taulukko 19. Tutkimusleimikkojen runkojen eräiden ominaisuuksien keskiarvoja.
Table 19. Some average properties of the stems in the study stands.

Muuttuja — *Variable*	Leimikon laatu — *Quality of stand*		
	Huono *Low*	Keskinkertainen *Middling*	Hyvä *Good*
Runkoja, kpl — *No. of stems*	72	57	55
Rinnankorkeusläpimitta, mm — *Breast height diameter, mm*	330	313	327
Kapeneminen $d_{1,3}$-d_6, mm — *Taper* $d_{1,3}$-d_6, *mm*	81	78	79
Pituus, dm — *Height, dm*	219	207	221
Etäisyys maasta alimpaan kuivaan oksaan, dm — *Distance from the ground to the lowest dead branch, dm*	36	57	89
Etäisyys kuivan latvuksen alarajaan, dm — *Distance to the lower border of the dead crown, dm*	57	73	97
Etäisyys alimpaan elävään oksaan, dm — *Distance to the lowest living branch, dm*	97	88	107
Etäisyys elävän latvuksen alarajaan, dm — *Distance to the living crown, dm*	111	96	120
Rungon lenkous, mm — *Sweep of the stem, mm*	40	46	38

tutkimuksessa saatua käsitystä, ettei elävien oksien määrittelemän latvussuhteen tai oksattoman osan pituudella ole olennaista informaatioarvoa sahatukkien laatuluokitusta ajatellen.

Sitä vastoin on ilmeistä, että alimman kuivan oksan tai kuivan latvuksen alarajan määrittelemä oksaisuustunnus erottelee leimikkoja toisistaan. Taulukossa 19 tämä näkyy siitä, että etäisyys alimpaan kuivaan oksaan on huonolla leimikolla vain 40 % siitä mitä hyvällä. Keskinkertaisella leimikolla vastaava arvo on 64 %. Etäisyys kuivan latvuksen alareunaan ei erottele leimikoita keskiarvojen perusteella yhtä hyvin, mutta kuitenkin selvästi paremmin kuin elävät oksat.

Ehdotetussa laadunmääritysmenetelmässä tukkien keskimääräinen arvo määräytyy keskimääräisen rinnankorkeusläpimitan ja maasta alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden perusteella. Käytettävissä ovat mm. taulukot, joista voidaan lukea eri oksaisuuslaatuluokkiin kuuluvien tukkien tilavuusosuudet (K ä r k k ä i n e n 1980, s. 82...83).

Taulukossa 20 on esitetty em. tavalla ennustetut ja käytännössä mitatut eri oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuudet. Huonolla ja hyvällä leimikolla tulokset olivat erinomaisia asian luoteen huomioon ottaen. Huonolla leimikolla kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukkeja ennustettiin olevan 57 %, todellisuudessa niitä oli 59 %. Hyvällä leimikolla vastaavat luvut olivat 24 ja 21 %. Myös parempien tukkien osuuden ennustaminen onnistui hyvin, etenkin kun otetaan huomioon käytännössä vaikea ensimmäisen ja toisen oksaisuuslaatuluokan raja.

Sitä vastoin keskinkertaisella leimikolla ennustaminen ei onnistunut tyydyttävästi. Kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukkeja piti olla ennusteen mukaan 44 % tilavuudesta, mutta niitä oli vain 27 %. Vastaavan heikosti onnistui tietysti myös parempien tukkien osuuden ennustaminen.

Taulukko 20. Ennustettu ja havaittu tukkien eri oksaisuuslaatuluokkien tilavuusosuus eri leimikoilla.
Table 20. Predicted and observed volume percentage of various knottiness classes of logs in various stands.

Muuttuja — *Variable*	Leimikon laatu — *Quality of stand*					
	Huono *Low*		Keskinkertainen *Middling*		Hyvä *Good*	
	Ennustettu *Predicted*	Havaittu *Observed*	Ennustettu *Predicted*	Havaittu *Observed*	Ennustettu *Predicted*	Havaittu *Observed*
Ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuus, % — *Volume percentage of the first knottiness class*	16	19	31	46	55	61
Toisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuus, % — *Volume percentage of the second knottiness class*	27	22	25	27	21	18
Kolmannen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuus, % — *Volume percentage of the third knottiness class*	57	59	44	27	24	21

Väärinkäsityksen välttämiseksi mainittakoon, että eri oksaisuuslaatuluokkien osuus kappalemäärästä oli aivan toinen, koska parhaat tukit ovat järeitä tyvitukkeja. Tämä ero ilmenee seuraavasta jaotelmasta.

Oksaisuuslaatuluokka	Leimikon laatu: Huono		Keskinkertainen		Hyvä	
	Osuus tilavuudesta %	Osuus kappaleista %	Osuus tilavuudesta %	Osuus kappaleista %	Osuus tilavuudesta %	Osuus kappaleista %
1	19	16	46	0	61	50
2	22	22	27	26	18	21
3	59	62	27	34	21	29

Heikkoon ennustamisosuvuuteen keskinkertaisella leimikolla ei löydetty mitään yksinkertaista syytä. Tukkien pituuksista voitiin kuitenkin päätellä, että alimmat oksaisuuslaatuluokitukseen vaikuttavat kuivat oksat sijaitsevat sikäli edullisesti tukkien tavanomaisiin pituuksiin nähden, että runkojen välisestä vaihtelusta huolimatta oli usein mahdollista tehdä ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tyvitukki. Jos oksia oli verraten alhaalla, tukista tuli lyhyt, jos taas ne olivat ylempänä, tukin pituutta lisäämällä saatiin otetuksi suuri osa korkealaatuisesta rungon pituudesta talteen ja näin kohotetuksi ensimmäiseen oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvien tukkien tilavuusosuutta. Kun keskimäärin alin kuiva oksa oli tukkien pituuksiin nähden varsin korkealla, 57 dm maan pinnasta, tukeista tuli pitkiä ja suuren tilavuuden omaavia. — Tätä hypoteesiä tukee se, että tukkien keskipituus oli keskinkertaisella leimikolla 18 cm suurempi kuin huonolla ja 13 cm suurempi kuin hyvällä, missä rungon oksattoman osan pituus salli usein kahden hyvälaatuisen tukin teon. — Tukkien keskipituudet näkyvät taulukosta 24.

Toinen heikon ennustamisen syy saattaa olla siinä, että keskinkertaisella leimikolla rungon tukkiosa oli selvästi pienempi kuin muilla leimikoilla, vaikka tukin keskikoko oli vain vähän pienempi (taulukko 1) eikä rinnankorkeusläpimittakaan poikennut

paljon (taulukko 19). Nämä tiedot viittaavat siihen, että osasta runkoja otettiin vain hyvälaatuinen tyvitukki, mikä kohotti ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tilavuusosuutta. — Mh. Laaksosen ilmoituksen mukaan kyseisellä leimikolla oli järeitä, mutta vain tyvitukin antavia rämemäntyjä, ja tämä tukee hyvin olettamusta.

Käytännössä lienee vaikea keksiä mittauskelpoista järjestelmää, joka ottaisi huomioon rungon ominaisuudet suhteessa tukkien käytettyihin pituuksiin ja olisi samalla yksinkertainen ja käytännöllinen. Tältä kannalta ajatellen heikko ennustamisosuvuus keskinkertaisen leimikon tapauksessa saattaa olla siedettävää, kun toisena realistisena vaihtoehtona on jättää ennustaminen kokonaan tekemättä ja tyytyä pelkkään keskihinnan käyttöön oksaisuuslaadusta riippumatta. Tähän vaihtoehtoon verrattuna oikeaan suuntaan käyvä, joskin huono laatuennuste on parempi kuin ei mikään ennuste.

On kuitenkin selvää, ettei pelkkä tukkien tilavuuden jakautuminen oksaisuuslaatuluokkiin ole riittävä kriteeri arvioitaessa menetelmän käyttökelpoisuutta. On vielä selvitettävä, onko sahaustulos tietyn oksaisuuslaatuluokan omaavista tukeista samanlainen riippumatta siitä, millaiselta leimikolta tukit on saatu.

Kun sahatavaran laadun kriteerinä käytettiin keskimääräistä yksikköhintaa, saatiin taulukoissa 21...23 esitetyt tulokset. Yksikköhinnan taso oli, kuten aiemminkin, u/s-lauta = 100, ja hinnoittelussa käytettiin sahatavaralaaduille I...IV sekä yhtenäis- että erillishinnoittelua.

Taulukon 21 mukaan soirojen yksikköhinnoissa on selvä tilastollisesti merkitsevä ero huonon ja hyvän leimikon välillä tarkasteltaessa ensimmäisen ja kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukkeja. Sitä vastoin erot huonon ja keskinkertaisen leimikon

Taulukko 21. Soirojen yksikköhinta eri leimikoilla oksaisuuslaatuluokan ja hinnoittelutavan mukaan.
Table 21. Volume price of battens at various stands according to the knottiness class and the type of pricing.

Hinnoittelu I...IV *Price of I...IV*	Oksaisuuslaatuluokka *Knottiness class*	Muuttuja *Variable*	Leimikon laatu — *Quality of stand* A Huono *Low*	B Keskinkertainen *Middling*	C Hyvä *Good*	t-arvo *t-value* AB	BC	AC
Sama — *Same* ...	1	$\bar{x}$	69,1	69,4	72,6	0,2	2,8	2,6
		s	7,9	7,0	5,1			
		n	28	49	69			
	2	$\bar{x}$	61,7	63,5	62,5	0,9	0,5	0,4
		s	8,7	8,0	7,2			
		n	39	32	29			
	3	$\bar{x}$	52,7	55,7	56,9	2,5	0,9	3,3
		s	6,8	6,2	7,4			
		n	107	43	41			
Eri — *Separate* ..	1	$\bar{x}$	69,0	75,6	100,6	1,7	5,4	5,6
		s	13,3	18,1	28,3			
		n	28	49	69			
	2	$\bar{x}$	63,8	67,5	67,0	1,0	0,1	0,7
		s	14,4	17,0	23,2			
		n	39	32	29			
	3	$\bar{x}$	52,9	55,7	59,4	2,1	1,4	3,4
		s	7,8	7,1	15,5			
		n	107	43	41			

Taulukko 22. Lautojen yksikköhinta eri leimikoilla oksaisuuslaatuluokan ja hinnoittelutavan mukaan.
Table 22. Volume price of boards at various stands according to the knottiness class and the type of pricing.

Hinnoittelu I...IV *Pricing I...IV*	Oksaisuus-laatuluokka *Knottiness class*	Muuttuja *Variable*	Leimikon laatu — *Quality of stand* A Huono *Low*	B Keskin-kertainen *Middling*	C Hyvä *Good*	t-arvo *t-value* AB	BC	AC
Sama — *Same* ...	1	$\bar{x}$	66,0	72,4	88,1	1,3	4,9	5,7
		s	21,5	19,4	15,5			
		n	28	49	69			
	2	$\bar{x}$	54,3	57,8	61,5	0,8	0,8	1,7
		s	17,2	20,6	17,0			
		n	39	32	29			
	3	$\bar{x}$	45,3	43,0	47,1	1,5	2,1	1,0
		s	8,9	6,3	10,7			
		n	105	42	40			
Eri — *Separate* ..	1	$\bar{x}$	74,7	92,4	134,3	2,0	5,3	6,5
		s	30,6	39,9	44,5			
		n	28	49	69			
	2	$\bar{x}$	59,6	65,5	69,1	0,8	0,5	1,4
		s	28,8	31,9	23,9			
		n	39	32	29			
	3	$\bar{x}$	47,0	43,8	49,4	1,3	1,8	0,8
		s	14,8	8,8	18,6			
		n	105	42	40			

Taulukko 23. Sahatavaran yksikköhinta eri leimikoilla oksaisuuslaatuluokan ja hinnoittelutavan mukaan.
Table 23. Volume price of sawn goods of various stands according to the knottiness class and the type of pricing.

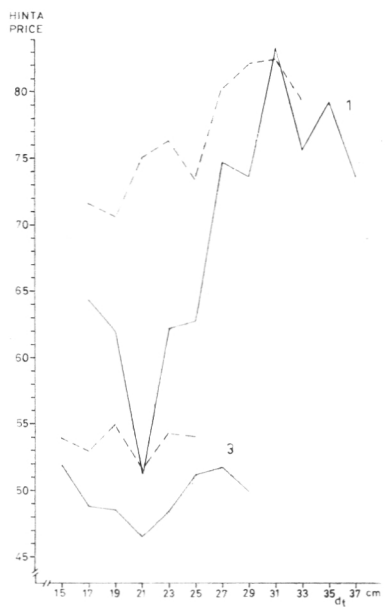
Hinnoittelu I...IV *Pricing I...IV*	Oksaisuus-laatuluokka *Knottiness class*	Muuttuja *Variable*	Leimikon laatu — *Quality of stand* A Huono *Low*	B Keskin-kertainen *Middling*	C Hyvä *Good*	t-arvo *t-value* AB	BC	AC
Sama — *Same* ...	1	$\bar{x}$	68,2	70,4	76,8	1,0	4,4	5,1
		s	9,8	9,4	6,4			
		n	28	49	69			
	2	$\bar{x}$	60,1	61,5	62,4	0,6	0,4	1,0
		s	10,1	10,6	7,8			
		n	39	32	29			
	3	$\bar{x}$	50,4	52,0	54,2	1,5	1,6	3,2
		s	6,2	5,2	7,1			
		n	107	43	41			
Eri — *Separate* ..	1	$\bar{x}$	70,7	80,4	110,0	2,1	6,1	6,8
		s	15,9	21,5	28,7			
		n	28	49	69			
	2	$\bar{x}$	63,1	66,4	68,1	0,8	0,4	1,1
		s	17,0	18,4	20,7			
		n	39	32	29			
	3	$\bar{x}$	51,0	52,3	56,6	0,9	1,8	2,9
		s	8,7	6,6	14,1			
		n	107	43	41			

sekä keskinkertaisen ja hyvän leimikon välillä olivat vailla tilastollista merkitsevyyttä, joskin keskiarvot olivat suunnaltaan yleensä erilaisuushypoteesiä tukevia. Toisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa erot olivat pienet ja vailla tilastollista merkitsevyyttä. — Samat johtopäätökset voitiin tehdä sekä erillis- että yhtenäishinnoittelua käytettäessä.

Laudoissa hyvän ja huonon leimikon ero oli tilastollisesti merkitsevä ainoastaan ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeissa (taulukko 22). Muissa tapauksissa erot leimikkojen välillä eivät olleet aina johdonmukaisia. Soiroihin verrattuna pienemmät leimikkojen erot johtuvat ilmeisesti siitä, että oksaisuuslaatuluokka kertoo enemmän pintalautojen kuin sydäntavaran laadusta.

Kaiken sahatavaran osalta tulokset on esitetty taulukossa 23. Soirojen hallitsevan osuuden takia johtopäätökset ovat samat kuin soirojen osalta: hyvän ja huonon leimikon ero on tilastollisesti merkitsevä ensimmäisen ja kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa.

Kuvassa 18 on esitetty vielä esimerkkinä tarkastelu tukin latvaläpimitan mukaan, kun hinnoittelussa käytettiin samaa arvoa laaduille I...IV. Parhaissa tukeissa hyvän ja huonon leimikon välinen ero näyttää supistuvan tukin järeytyessä. Kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeissa vastaavaa eroa ei voida havaita. Kuvasta ilmenee myös sinänsä sangen lohdullinen seikka, että leimikoiden yleislaadusta aiheutuva ero samaan oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvien tukkien kesken ei kuitenkaan tee tyhjäksi tukkien laatuluokitusta: huonolla leimikolla ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukeista saatavan sahatavaran yksikköhinta on verrattomasti korkeampi kuin hyvällä leimikolla kolmannen oksaisuuslaatuluokan tukeista saatava.



Kuva 18. Sahatavaran yksikköhinta tukin latvaläpimitan mukaan huonolaatuisessa (ehyt viiva) ja hyvälaatuisessa (katkoviiva) leimikossa ensimmäisen (1) ja kolmannen oksaisuuslaatuluokan (3) tukeissa. Laadut I...IV hinnoiteltiin samalla arvolla (erikseen soirot ja laudat).

Fig. 18. Volume price of sawn goods according to the top diameter of log in a low quality (solid line) and high quality (broken line) stand the logs being of the first (1) and the third (3) knottiness class. Grades I...IV were priced by the same volume (battens and boards separately).

Edellä esitetyistä tuloksista voidaan kuitenkin tehdä johtopäätös, että hyvän ja huonon leimikon ero on suurempi sahatavaran arvoa ajatellen kuin mitä voidaan päätellä niiden tukkien tilavuuden jakautumisesta eri oksaisuuslaatuluokkien kesken. Samanlaatuisiksi luokiteltujen tukkien arvo riippuu siis jonkin verran vielä siitä, millaiselta leimikolta ne ovat peräisin. Syy tähän ei ole tiedossa, mutta mahdollinen selitys saattaa piillä luokittelijan psykologiassa: mahdollista on, että huonolla leimikolla alitajuisesti pyrittiin löytämään hyviä tukkeja enemmän kuin niitä todellisuudessa on. Toinen selitys on puhtaasti biologinen; mahdollista on, että leimikon yleislaatu kertoo jotakin soirojen laatuna näkyvästä metsikön varhaishistoriasta.

Taulukossa 24 on esitetty leimikoittaiset tulokset yksikköhinnoista ja arvosta tukin tilavuutta kohti. Lisäksi on esitetty joitakin tukkien keskiarvoja mielikuvan saamiseksi eri tekijöiden tasosta. Näistä tiedoista ilmenee mm. se, ettei lenkous juuri vaihtele leimikoittain. Myös tukit on tehty likimain samanlaisiksi, joskin pituuserosta

Taulukko 24. Tulokset tutkimusleimikoiden tukeista ja niistä saadusta sahatavarasta. Keskihajonta on tukkien välinen.

Table 24. Results on the logs and sawn goods derived from them in the study stands. Standard deviation is between logs.

Muuttuja — *Variable*	Leimikon laatu — *Quality of stand*					
	Huono *Low*		Keskinkertainen *Middling*		Hyvä *Good*	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Tukkeja, kpl — *No. of logs*	174	—	124	—	139	—
Pituus, cm — *Length, cm*	444	72	462	70	449	78
Kuoreton latvaläpimitta, mm — *Top diameter under bark, mm*	240	57	222	44	237	42
Tilavuus taulukosta, dm^3 — *Table volume, dm^3*	288	133	255	103	283	121
Oksaisuuslaatuluokka — *Knottiness class*	2,45	0,76	1,95	0,86	1,80	0,87
Laatuluokka — *Quality class*	2,49	0,73	2,06	0,80	1,96	0,86
Lenkous, mm — *Sweep, mm*	26	14	29	13	28	12
Saanto, % — *Yield, %*	50,7	7,5	50,9	6,3	49,8	7,1
Soirojen yksikköhinta — 1)	57,9	12,4	66,6	17,1	81,4	30,7
Volume price of battens 2)	57,4	9,7	63,1	9,2	65,9	9,4
Lautojen yksikköhinta — 1)	54,4	23,9	68,8	36,8	96,0	52,2
Volume price of boards 2)	50,7	15,7	58,9	20,7	70,6	23,4
Kaiken sahatavaran yksikköhinta — 1)	56,9	14,5	67,0	20,7	85,5	34,1
Volume price of all sawn goods 2)	55,4	10,4	61,7	11,6	67,1	12,2
Soirojen arvo tukin tilavuutta kohti — 3)	2 127	571	2 456	639	3 058	1 284
Price of battens per log volume 4)	2 104	461	2 334	396	2 471	528
Lautojen arvo tukin tilavuutta kohti — 3)	860	406	1 027	530	1 424	852
Price of boards per log volume 4)	812	342	888	360	1 074	491
Kaiken sahatavaran arvo tukin tilavuutta kohti — 3)	2 986	713	3 483	956	4 482	1 821
Price of all sawn goods per log volume 4)	2 917	552	3 222	553	3 546	757

Huomautuksia — *Remarks:* 1) Laadut I...IV on hinnoiteltu erikseen — *Grades I...IV are priced separately* 2) Laadut I...IV on hinnoiteltu samalla arvolla — *Grades I...IV are priced by the same value.* 3) Tukin tilavuus Newtonin kaavalla, laadut I...IV on hinnoiteltu erikseen — *Log volume by Newton rule, grades I...IV are priced separately.* 4) Tukin tilavuus Newtonin kaavalla, laadut I...IV on hinnoiteltu samalla arvolla — *Log volume by Newton rule, grades I...IV are priced by the same value.* Huom. Kohdissa 1) ja 2) u/s-lauta = 100, kohdissa 3) ja 4) u/s-lauta on sahatavaran tilavuutta kohti 10 000. *Obs. In 1) and 2), price of u/s-board is 100, and in 3) and 4), the price of u/s-board per sawn goods volume is 10 000.*

jo aiemmin mainittiin. Kaikilla leimikoilla tukit olivat kuitenkin lyhyitä mm. aiempaan tutkimukseen verrattuna.

Eri tunnusluvuista voidaan havaita, että yksikköhinnat ja tukin tilavuutta kohti lasketut arvot antoivat likimain samanlaisen tuloksen, koska saanto vaihteli leimikoiden välillä varsin vähän. Kiintoisaa kuitenkin on, että olettamuksen mukaisesti pienin saanto oli paraslaatuisella leimikolla. Muut kaksi leimikkoa eivät juuri poikenneet toisistaan.

Hinnoitteluvaihtoehdoista voidaan taas havaita, että huonolaatuisella leimikolla ero oli pieni ja oikeastaan vain lautojen osalta havaittavissa. Keskinkertaisella leimikolla ero oli jo suurempi, mutta todella merkityksellinen vasta parhaalla leimikolla. — Tästä leimikkojen erilaisuudesta hinnoittelun suhteen seuraa, että leimikkojen keskinäiset arvosuhteet saatiin aivan olennaisesti erilaisiksi riippuen siitä, hinnoiteltiinko u/s-laadut I...IV samanarvoisiksi vai eriarvoisiksi. Tämä ilmenee myös seuraavasta jaotelmasta, jonka pohjana on sahatavaran arvo tukin tilavuutta kohti (huono leimikko = 100).

	Leimikko		
	Huono	Keskinkertainen	Hyvä
Erillishinnoittelu	100	117	150
Yhtenäishinnoittelu	100	110	122

Selvää luonnollisesti on, että myytäessä u/s-laatu erittelemättömänä vastaavaa laskentatapaa on käytettävä. Ainoastaan jos voidaan ajatella erillismyyntejä mm. puusepänteollisuudelle tai suoraan kuluttajille, toisenlainen hinnoittelutapa on realistinen. Tavanomaisessa tapauksessa voidaan näin ollen sanoa, että hyvältä leimikolta saadun sahatavaran arvo tukin tilavuutta kohti oli 22 % suurempi kuin huonolta leimikolta saadun. Ero saattaa tuntua pieneltä ottaen huomioon, että hyvän leimikon laatu oli Rauman seudun oloissa poikkeuksellisen erinomainen.

Tässä yhteydessä on kiinnostavaa myös tarkastella, millaiset olisivat leimikoiden arvosuhteet Kärkkäisen (1980, s. 143) esittämän taulukon perusteella, kun arvio tehdään keskimääräisen rinnankorkeusläpimitan ja alimpaan kuivaan oksaan mitatun etäisyyden perusteella. Jos huonon leimikon tulosta merkitään luvulla 100, keskinkertaisella leimikolla indeksi oli 103 ja hyvällä 111. — Nämä luvut eivät ole kuitenkaan vertailukelpoisia taulukossa 26 esitettyihin lukuihin, koska em. taulukoiden luvuissa on otettu huomioon sahatavaran arvon lisäksi myös kuoren, sahanpurun ja hakkeen arvo.

Yhteismitallisuuden saavuttamiseksi voidaan esimerkkinä tarkastella taulukon 24 alinta riviä. Kun siihen lisätään sivutuotteiden arvo, voidaan uudelleen tarkastella leimikkojen suhteita. Yksinkertaisuuden vuoksi otetaan saannoksi 50 %. Loppuosa tukin tilavuudesta jakautuu kuoren (12 %), sahanpurun (13 %) ja hakkeen (25 %) kesken. Hintatasona voidaan käyttää aiemman tutkimuksen tavoin arvoa 10 000 u/s-sahatavaralaudalle, jolloin kuori ja puru ovat kumpikin suuruusluokaltaan 700 ja hake 1 500. Laskelma saa tällöin seuraavan muodon.

	Leimikon laatu		
	Huono	Keskinkertainen	Hyvä
Sahatavara	2 917	3 222	3 546
Kuori	84	84	84
Puru	91	91	91
Hake	375	375	375
Yhteensä	3 467	3 772	4 096

Kun huonon leimikon arvoa merkitään luvulla 100, keskinkertaisen indeksi on 109 ja hyvän 118. Nämä ovat vertailukelpoisia aiemman tutkimuksen tuloksena syntyneestä taulukosta saataviin lukuihin 100, 103 ja 111. — Ehdotettu menetelmä antoi siis selvästi pienemmän eron.

Kun kuitenkin aiemmin voitiin todeta, että ehdotettu menetelmä antoi sangen tyydyttäviä ennusteita eri oksaisuuslaatuluokan tukkien tilavuusosuudesta keskinkertaista leimikkoa lukuun ottamatta, tärkeimmäksi syyksi havaittuun aliarviointiin jää se seikka, että hyvältä leimikolta saadut tiettyyn oksaisuuslaatuluokkaan kuuluvat tukit antoivat arvokkaampaa sahatavaraa kuin vastaavan luokan tukit huonolta leimikolta.

4. TULOSTEN TARKASTELUA

Käytetty koesahausaineisto, 437 mäntytukkia 184:stä rungosta, ei ole suuri aiempaan tutkimukseen (609 tukkia 221:stä rungosta) (K ä r k k ä i n e n 1980) tai moniin muihin tutkimuksiin verrattuna. Se on kuitenkin poikkeuksellisen kiintoisa sen vuoksi, että siinä oli aiemman tutkimuksen tavoin käytettävissä rungoittaiset tiedot jokaisesta tukista. Tämän ansiosta oli myös mahdollista tarkastella aiemman tutkimuksen johtopäätöksiä riippumattoman aineiston avulla, joka sitä paitsi oli kerätty aivan toisenlaisista olosuhteista Rauman rannikolta edellisen aineiston edustaessa Salpausselän oloja.

Yleisesti ottaen saadut tulokset vahvistivat aiemman tutkimuksen johtopäätöksiä. Niinpä havaittiin, että saanto kasvoi tukin laadun heikentyessä. Edellisen tutkimuksen tavoin havaittiin, että pelkkää oksaisuuslaatuluokitusta käyttäen saatiin syntymään sahaustuloksen arvon kannalta selvästi eriarvoisia eriä, joissa tukin järeytyminen määrärajaan saakka lisäsi arvoa kohoamisen ollessa voimakkainta parhaissa tukeissa. Edelleen todettiin, että oksaisuuslaatuluokitus ja tukin järeys vaikuttivat enemmän lautoihin kuin soiroihin. Sahatavaralaatujen I...IV erillishinnoittelu yhtenäisen hinnan käyttämisen asemasta lisäsi oksaisuuslaatu- ja järeysluokkien eroja.

Erona aiemman tutkimuksen tuloksiin oli, että nyt saatiin saman järeyden ja tukin oksaisuuslaatuluokan tai laatuluokan omaavasta tukista parempaa sahatavaraa kuin aiemmin. Ero oli vähäinen, jos u/s-sahatavaraa ei jaettu laatuihin I...IV, mutta merkittävän suuri käytettäessä laatujen I...IV erillishinnoittelua.

Yksi mahdollinen syy havaittuun eroon saatiin nyt käsitellystä aineistosta. Hyvältä leimikolta saadusta tietyn laadun ja järeyden omaavasta tukista saatiin arvokkaampaa sahatavaraa kuin jos ulkonaisesti samanlainen tukki oli otettu huonolaatuisesta leimikosta. Joitakin viitteitä oli, että ilmiö oli voimakkaapi soiroissa kuin laudoissa, mikä mahdollisesti heijastaa leimikon yleisen laadun historiallista arvoa puiden nuoruudenkehityksen kannalta. Luokittelijan vaikutus on myös mahdollinen.

Kun pyrittiin ennustamaan aiemman tutkimuksen tulosten avulla eri oksaisuuslaatuluokkiin kuuluvien tukkien tilavuusosuutta, onnistuttiin tyydyttävästi huonolla ja hyvällä leimikolla, mutta heikosti keskinkertaisella leimikolla. Tulosta voi pitää rohkaisevana, koska ennustaminen perustui pelkästään keskimääräiseen rinnankorkeusläpimittaan ja etäisyyteen alimpaan kuivaan oksaan.

Sitä vastoin erot leimikoiden todellisen sahaustuloksen mukaan olivat suurempia kuin voitiin ennustaa aiemman tutkimuksen perusteella. Osasyynä oli se, että leimikon

yleislaatu vaikutti tuloksiin: määrälaatuisesta ja määräkokoisesta tukista saatiin hyvällä leimikolla arvokkaampaa sahatavaraa kuin huonolla.

Tämän ja aiemman tutkimuksen perusteella näyttää ilmeiseltä, että perusajatus arvioida mäntytukkileimikon arvoa sahaustuloksen kannalta kahden mitattavissa olevan tekijän (rinnankorkeusläpimitta ja etäisyys maasta alimpaan kuivaan oksaan) avulla on mahdollinen myös käytännön kannalta, mikäli ennustamisosuvuudelle ei aseteta liian suuria vaatimuksia. Sitä vastoin ei voida sanoa, että aiemmassa tutkimuksessa esitetty taulukko mäntytukkirunkojen arvosuhteista olisi lopullinen.

Taulukon käyttökelpoisuuden tarkistamiseksi on käytettävissä kaksi mahdollisuutta.

1. Kerätään puunkorjuun piiriin tulevia mäntytukkirunkoja edustava aineisto, jonka rungoista selvitetään halutut ennustamisessa käytetyt tekijät sekä todetaan koesahauksin sahaustuloksen arvo. — Tällä hetkellä kelvollista aineistoa on käytettävissä aiemman tutkimuksen 221 runkoa ja tämän aineiston 184 runkoa, yhteensä 405 runkoa. — Tätä ei voi vielä pitää riittävänä mm. edustavuuden ollessa kyseenalainen. — Jos käytettävissä olisi edustava aineisto, on määräolettamuksin laskettavissa ennusteyhtälö tai sen perusteella taulukko.

2. Kerätään korjattavilta leimikoilta tietoja mäntytukkirunkojen ominaisuuksista ja todetaan, kuinka saadut tukit jakautuvat tilavuudeltaan oksaisuuslaatuluokkiin. Näiden tietojen perusteella voidaan tarkistaa aiemman tutkimuksen tuloksia ja tehdä tarvittaessa korjaukset. Tämän lisäksi tarvitaan sahalaitoksilta joko koesahauksiin tai luotettaviin tilastoihin perustuvaa tietoa eri oksaisuus- ja järeysluokkien tukkien sahaustuloksen arvoeroista. Yhdistämällä nämä tiedot leimikkoaineistoon saadaan selvitetyksi erilaisten runkojen arvosuhteet.

Aiempi tutkimus perustui olennaisesti jälkimmäiseen vaihtoehtoon kuitenkin siten, että kunnollisten tilastotietojen puuttuessa erilaisten tukkien arvosuhteet perustuivat sen omaan koesahausaineistoon. Nopeimmin sen tuloksia saadaan kontrolloiduksi pyrkimällä selvittämään erilaisten tukkien arvosuhteet.

Kuitenkin myös ensimmäinen vaihtoehto on kiintoisa sen suurista kustannuksista huolimatta. Jo nyt käytettävissä olleet pari esimerkkiaineistoa runkokohtaisella tasolla ovat osoittaneet, että tällä tutkimustavalla voidaan saada kiintoisia tuloksia, joiden sovellutusarvo saattaa olla huomattava.

Käsillä oleva tutkimus ei anna yksiselitteistä vastausta siihen, missä määrin on aiheellista muuttaa aiemman tutkimuksen tuloksena syntynyttä arvosuhdetaulukkoa. Eri oksaisuuslaatuluokkien tilavuusosuuden ennustaminen onnistui tyydyttävästi kahdella leimikolla kolmesta. Kun poikkeava leimikko arvioitiin laadultaan keskimääräiseksi, olennaista taulukon muutostarvetta ei liene. — Toisaalta leimikoittaiset koesahaukset viittaavat siihen, että julkaistu taulukko on liian konservatiivinen: se yliarvioi huonon leimikon ja aliarvioi hyvän. — Tavoiteltava konservatiivisuuden aste on tietysti kysymys sinänsä.

Olennaisin lopputulokseen vaikuttava ratkaisu on kuitenkin sen periaatteen valitseminen, jota arvosuhdetaulukossa käytetään. Tähän saakka on lähdetty brutto-

tuotoista tukin tilavuutta kohti. Tämä antaa suhteellisesti pienimmät leimikkojen väliset erot. Toisessa ääripäässä on jokin ylijäämätunnus tukin tilavuutta kohti, joka antaa suurimmat leimikkojen erot. Esimerkiksi jos sivun 38 laskelmassa oletetaan kuluiksi 2 000 yksikköä tukin tilavuutta kohti, ylijäämien suhteet ovat 100 : 121 : 143 eikä 100 : 109 : 118 kuten bruttotuottojen perusteella. Tämä osoittaa, että laskentamalli on ratkaisevin tekijä.

KIRJALLISUUTTA

ASIKAINEN, K. & HEISKANEN, V. 1970. Havutukkien laadun mukaiset arvosuhteet. Summary: The value relationships of coniferous sawlogs on the basis of their grade. Commun. Inst. For. Fenn. 70(3): 1—77.

HEISKANEN, V. 1951. Mäntysahatukkien laadun mukaisista arvosuhteista. Silva Fenn. 69:92—103.

— 1954. Tutkimuksia mäntytukkipuiden laatuluokitustavoista ja niiden tarkkuudesta. Summary: Investigations into pine tree grading methods and their accuracy. Commun. Inst. For. Fenn. 44 (1): 1—132.

— 1955. Tutkimus tukkipuiden, sahatukkien ja sahatavaran laadusta Inarin alueella. Helsinki. 14 s.

— 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männiköissä. Summary: On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands. Acta For. Fenn. 80(2): 1—62.

— 1971. Tyvitukkien ja muiden tukkien koesahauksia Pohjois-Suomessa. Summary: Test sawings of butt logs and top logs in Northern Finland. Folia For. 116: 1—23.

— 1976. Havusahatukkeja koskevia arvolaskelmia vv. 1974—1975. Summary: Value calculations for softwood sawlogs in 1974—1975. Folia For. 251: 1—64.

— & SIIMES, F. E. 1959. Tutkimus mäntysahatukkien laatuluokituksesta. Paperi ja Puu 41(8): 359—368.

KÄRKKÄINEN, M. 1980. Mäntytukkirunkojen laatuluokitus. Summary: Grading of pine sawlog stems. Commun. Inst. For. Fenn. 96(5): 1—152.

Mäntysahatukkien arvosuhteet ja hinnoitteluperusteet Pohjois-Suomessa. Sahatukkien hinnoittelutoimikunnan mietintö. 1956. Helsinki. 112 s.

ORVÉR, M. 1970 a. Klassificering av tallsågtimmer med objektivt mätbara faktorer. Summary: Grading of Scots pine saw timber using objectively measurable factors. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 65: 1—138.

— 1970 b. 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. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 66: 1—54.

SUMMARY

RESULTS OF SAWING PINE LOGS IN RAUMA REGION, WESTERN FINLAND

In a previous study (K ä r k k ä i n e n 1980) it was concluded that the quality of the raw material for pine sawn goods can be predicted from the average breast height diameter of stems and the distance from the ground to the lowest dead branch. In order to test this method, a new sample was taken from the coastal region of Rauma, western Finland. Three stands were chosen one representing low, the others middling and good quality raw material.

184 pine stems were cut, yielding 437 logs. The logs were graded according to the knots only (three knottiness classes) or knots and other defects (three quality classes). The grading system was presented in the previous study of K ä r k k ä i n e n (1980).

The logs were sawn using customary set-ups of cant sawing. The sawn goods were graded as they normally are for export. Two pricing methods were used. In one the u/s grade was divided into subclasses I...IV and they were given the values shown on p. 6 (soirot = battens, laudat = boards). In the other method, the u/s grade was priced without subdivision. This is the normal method used for export.

For the analysis of the volume prices of sawn goods, u/s board was given the value 100 and the other grades were related to it. As the value of sawn goods per log volume was in question, u/s board was given the value 10 000 per sawn goods unit and the other grades were related to it. The log volume was estimated including bark using Newton rule or a table used in Finnish practical forestry.

Most of the results are presented in tables and figures. The yield of sawn goods decreased a little as the knottiness or quality class of the logs improved. However, much more important was the simultaneous increase in the unit price of the sawn goods. The increase was moderate in battens and higher in boards. Besides log grade, the other important factors was top diameter: as it increased, the volume price increased and the effect was greatest on high quality logs.

When separate pricing of grades I...IV was used, the effect of log grade and top diameter was greater than in the customary way of keeping u/s grade undivided.

Stand quality had little effect even when logs of the same log grade and top diameter were compared. The volume price was smaller in the low quality than in the good quality stand. The reason is not known, but a possible explanation is the psychology of the log grader.

The prediction of the quality of the raw material in various stands was partly successful when it was based on the average breast height diameter and the distance to the lowest dead branch. The proportion of knottiness classes was estimated more successfully than the value of sawn goods.

MÄNNYN JA KUUSEN RUNKOPUUN PIHKAPITOISUUDEN LISÄÄMINEN SIVUTUOTESAANNON KOHOTTAMISEKSI

MATTI KÄRKKÄINEN

Summary

INCREASING RESIN CONTENT IN PINE AND SPRUCE STEMWOOD FOR HIGHER BY-PRODUCT YIELD

HELSINKI 1981

ODC 892.61:174.7 *Pinus sylvestris* & *Picea abies*
ISBN 951-40-0518-X
ISSN 0026-1610

KÄRKKÄINEN, M. 1981. Männyn ja kuusen runkopuun pihkapitoisuuden lisääminen sivutuotesaannon kohottamiseksi. Summary: Increasing resin content in pine and spruce stemwood for higher by-product yield. Commun. Inst. For. Fenn. 96(8):1—81.

Kirjallisuuskatsauksen mukaan Suomen oloissa käyttökelpoisin tapa ottaa pihka talteen on käyttää sulfaattimenetelmää ja hyödyntää sivutuotteena raaka mäntyöljy ja tärpätti. Ainoa merkittävä puulaji on mänty, joskin myös koivun uuteaineista saadaan osa talteen männyn ja koivun sekakeitolla. Sivutuotteiden määrää voidaan lisätä valikoimalla raaka-aineeksi runsaspihkaista puutavaraa, erityisesti männynkantoja. Käytännössä selittävät tehdaskohtaisia eroja mm. erot raaka-aineen sydänpuupitoisuudessa. Erityisesti sahanhake on sivutuotteiden kannalta vähätuottoisa raaka-aine.

Pihkaa voidaan lisätä kasvavassa puussa mekaanisesti haavoittamalla tai käyttämällä eräitä kemikaaleja, erityisesti parakvaattia tai sen lähisukuisia aineita. Yhdysvaltain etelävaltioissa menetelmä on jo laajassa käytössä. Kokemukset ovat olleet myönteisiä, joskin hyönteistuhojen esiintyminen on vakava ongelma.

Tutkimuksen empiirisessä osassa selvitettiin, miten parakvaatilla varovasti käsitellyt pienikokoiset alikasvosmännyt (12 koealaa) ja -kuuset (8 koealaa) kehittyivät pihkapitoisuudeltaan. Lisäksi selvitettiin käsittelyn aiheuttamaa kasvun alenemista ja käsittelyn taloudellisuutta.

Kuusella reaktio jäi vähäiseksi ja selittyi suureksi osaksi mekaanisten haavojen aiheuttamista traumaattisista pihkatiehyistä. Sitä vastoin männyllä saatiin pihkapitoisuus kohoamaan parhaimmillaan kolminkertaiseksi kaksimetrisessä tyvipölkyssä kolmen vuoden aikana. Vuoden 1980 hintatasolla parakvaattikäsittelyä ei voi kuitenkaan pitää järkevänä, sillä kasvun alenemisesta aiheutunut selluloosatappio oli suurempi kuin sivutuotehyöty. Kuitenkaan raa'an mäntyöljyn ja selluloosan hintasuhteiden ei tarvitse muuttua kovinkaan paljon taloudellisen toiminnan edellytysten turvaamiseksi.

According to the literature review in Finland the most applicable method to utilize resin is to cook by kraft method and make crude tall oil and turpentine as by-products. The only important species in this respect is Scots pine. However, when birch is cooked with pine a part of its extractives can be utilized. The by-product yield can be increased by choosing especially resinous raw material, mainly pine stumps. Also the high proportion of heartwood in the raw material is important. The least resinous pine raw material are the saw mill chips made of residues.

The resin in living trees can be increased by wounding mechanically or using chemicals, especially paraquat. In the southern part of the U.S.A. the paraquat method is widely used. The experiences are good with the exception of insect damages to stands.

In the empirical part of the study the increase in the resin content of small pines and spruces due to paraquat treatment was studied. In spruce the reaction was small and partly due to pathological resin canals caused by wounding. In pine the results were satisfactory in some cases. In two metre butt bolts the resin content was increased threefold in three years. However, due to increment losses of wood material the treatments were not economic when the price relations of pulp and crude tall oil of the year 1980 were used. If the price of crude tall oil increases in relation to pulp the treatments can be economic in the future.

Helsinki 1981. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 5
2. PIHKAPITOISUUDEN VAIHTELU 8
2.1. Rungon ja kannon pihkapitoisuus 8
2.1.1. Sydänpuuosuudesta riippumaton vaihtelu 8
2.1.2. Pihkapitoisuus manto- ja sydänpuussa 11
2.1.3. Rungon sisäinen sydänpuuosuuden vaihtelu 11
2.1.4. Runkojen välinen sydänpuuosuuden vaihtelu 12
2.2. Oksien pihkapitoisuus 13
2.3. Kuoren pihkapitoisuus 15
3. ELÄVÄN PUUN PIHKAN LISÄÄMINEN 16
3.1. Puun mekaaninen ärsytys 16
3.1.1. Kolominen 16
3.1.2. Pihkominen 17
3.1.3. Käytännön näkökohtia 18
3.2. Kemiallisten aineitten käyttö 19
3.2.1. Hapot ja emäkset 19
Pihkomisen yhteydessä tehdyt havainnot 19
Varsinainen puuaineen pihkoittaminen 21
3.2.2. Eritystä stimuloivat aineet 23
3.2.3. Parakvaatti 24
3.2.4. Kemiallisten aineiden saattaminen puuhun 26
3.3. Biologiset ärsykkeet 26
3.4. Pihkatiehyiden ja ydinsäteiden lisääminen 27
3.5. Käsiteltyjen puiden arvo 28
4. VALMIIN PUUTAVARAN PIHKAPITOISUUDEN LISÄÄMINEN TAI ALENEMISEN ESTÄMINEN 30
5. JALOSTUSMAHDOLLISUUDET 32
6. OMIEN TUTKIMUSTEN AINEISTO JA SEN KÄSITTELY 33
6.1. Aineisto 33
6.2. Pihkapitoisuuden määritys 38
6.3. Kasvun alenemisen selvittäminen 41
7. KANTOJEN KÄSITTELYSTÄ SAADUT TULOKSET 43
8. MÄNNYN RUNKOPUUSTA SAADUT TULOKSET 44
8.1. Pihkoittumisen kulku 44
8.2. Eri tekijöiden vaikutus pihkoittumiseen 45
8.2.1. Haavan ja kemikaalin vaikutuksen erottaminen 45
8.2.2. Koealojen väliset erot 45
8.2.3. Käsittelyn vaikutus 50
8.3. Vaikutus kasvuun 51
9. HAVAINTOJA KUUSESTA 55
10. LASKENTAMALLI MÄNNYN PIHKOITTAMISEN TALOUDELLISESTA MERKITYKSESTÄ 58
11. TULOSTEN TARKASTELUA 61
KIRJALLISUUTTA 63
SUMMARY 79

1. JOHDANTO

Tavallisesti pihkalla tarkoitetaan polaarittomiin, neutraaleihin, orgaanisiin liuottimiin liukenevia uuteaineryhmiä, joita tavataan sekä havu- että lehtipuilla. Liuotin voi olla esim. etyylieetteri tai dikloorimetanoli (P e n s a r 1977). Joskus pihkaksi on käsitetty ne uuteaineet, jotka liukenevat tiettyihin polaarisiin liuottimiin, erityisesti asetoniin. Teknisessä uuttamisessa liuotin saattaa olla myös bensiini, metanoli jne.

Pihka-aineet eivät muodosta mitään täsmällistä käsitettä kemiallisessa mielessä. Valtaosa pihkasta on lipidejä ja terpenoideja. Lipidit ovat rasvahappoja esteröityneinä glyserolien, rasva-alkoholien, sterolien tai terpeenialkoholien kanssa. Tämän lisäksi saattaa olla myös vapaita rasvoja ja erilaisia hiilivetyjä.

Terpenoidit ovat puolestaan oligoisopreenejä ja niiden johdannaisia. Niihin kuuluvat mm. helposti haihtuvat mono- ja seskviterpeenit sekä haihtumattomat hartsihapot ja niiden yhdisteet (P e n s a r 1977).

Liuottimesta riippuen pihka-aineisiin voidaan lukea myös muita aineita, erityisesti fenoleja, jotka liukenevat mm. asetoniin. Niiden merkitys tavanomaisessa pihkassa on yleensä edellä mainittuja lipidejä ja terpenoideja vähäisempi.

Pihka-aineet ovat puuaineen jälkeen tärkein metsästä saatava tuote. Niiden talteenotossa käytetään tavallisesti jotakin neljästä menetelmästä. Menetelmät ovat

—pihkominen eli pihkanjuoksutus
—uutto
—sulfaattisellun sivutuotemenetelmä
—kuivatislaus.

Pihkomisella tarkoitetaan toimia, joilla lisätään elävän puun pihkaneritystä ja tämän pihkan juoksutusta keräysastioihin. Tuote jalostetaan tavallisesti hartseiksi ja tärpätiksi sekä niiden hienommiksi derivaatoiksi.

Suomessa pihkomista ei harrasteta nykyisin menetelmän työvaltaisuuden ja siitä aiheutuvien kustannusten vuoksi. Esim. Saksan oloissa vuosituotos on parhaimmillaan 10 t pihkaa työntekijää kohti (K r u m m 1980), mikä ei Suomen palkkatasolla vielä riitä kannattavaan pihkanjuoksutukseen.

Viimeksi pihkaa kerättiin Suomessa toisen maailmansodan aikana erilaisiin kemiallisiin tarkoituksiin. Keräystä tehtiin sekä männystä että kuusesta. Varsinainen pihkominen kohdistetaan eri maissa yleensä kuitenkin vain mäntylajeihin, joskin eräissä

maissa kuusellakin on merkitystä (Radimir 1952, Kalninjš 1953, Damaceanu 1970, Ryabov ym. 1974). Lehtikuusen pihkaa kerätään erikoistarkoituksiin (esim. Schmidt 1980).

Uuttamisessa käytetään raaka-aineena vanhoja männynkantoja, joiden pihkapitoisuus saattaa olla lajista ja olosuhteista riippuen 20...30 %. Tavallisesti kannot haketetaan ja hake uutetaan esim. bensiinillä. Uutetut hakepalaset voidaan käyttää teollisesti tai polttaa.

Pihka-aineiden uuttamista ei tehdä nykyisin Suomessa. Toimintaa on tosin ollut, mutta se on loppunut.

Pihka-aineet voidaan ottaa talteen myös sulfaattisellun valmistuksen yhteydessä jäteliemestä. Tuloksena saadaan happokäsittelyn jälkeen raakaa mäntyöljyä, joka voidaan tislata erilaisiksi puhtaammiksi tuotteiksi. Tämän lisäksi sulfaattisellun keitossa saadaan talteen raakatärpättiä, joka voidaan tislata edelleen puhtaammiksi tuotteiksi. Mänty on pääasiallinen raaka-ainelähde. Kuusesta sivutuotteita saadaan sellutonnia kohti mäntyyn verrattuna vähän, n. 10 % männyn arvosta. Koivusta sivutuotesaanto on olematon ilman erityistoimia, esim. sekakeittoa männyn kanssa (Ivermark ja Jansson 1970).

Suomessa pihka-aineet otetaan talteen yksinomaan sulfaattisellun teon yhteydessä. Vuonna 1980 raakamäntyöljyn tuotanto oli 117 000 tonnia ja raakatärpätin 11 600 tonnia.

Sekä uuttamista että sulfaattisellun sivutuotteita varten voidaan pihka-aineita lisätä pihkoittamalla puuainetta. Pihkoittamisella tarkoitetaan erilaisia menetelmiä, joilla lisätään pihka-aineiden määrää puuaineessa. Käsitteellisesti tämä termi on siis erotettava aiemmin kuvatusta pihkomisesta.

Em. kolmella menetelmällä tuotetaan valtaosa talteenotetuista pihka-aineista (Sandermann 1974, Zinkel 1975 a, b). Neljäntenä menetelmänä voidaan kuitenkin mainita vielä kuivatislaus, jonka tyypillisin, pääasiassa pihka-aineisiin kohdistuva ratkaisu on tervanpoltto. Sen merkitys on nykyisin vähäinen. Aiemmin, kun tervanpoltto oli yleistä, myös sen raaka-ainetta pihkoitettiin (ks. Kärkkäinen 1975).

Pihka-aineiden käyttö on vanhaa ja monipuolista. Muinaisia käyttömuotoja olivat mm. egyptiläinen balsamointi, lääkeaineiden ja kirkollisten suitsukkeiden valmistus sekä maallisempina käyttömuotoina puulaivojen tervaus ja pikeäminen. Nykyisin pihkatuotteita käytetään pääasiassa laajan kemiallisen teollisuuden lähtöaineina. Lopputuote voi olla mm. maaleissa ja lakoissa sekä niiden liuottimissa, painomusteissa, malmin vaahdotusaineissa, saippuoissa, jopa purukumeissa ja mausteena kreikkalaisessa retsinassa (Bruun 1962, Kahila 1971, Sandermann 1974, Zinkel 1975 a, b). Eräistä erikoispihkalaaduista tehdään mm. optisen teollisuuden käyttämää kanadanpalsamia (Bender 1967).

Suomessa pihka-aineet jalostetaan toistaiseksi pääasiassa kemiallisen teollisuuden alkutuotteiksi. Vuonna 1979 raakatärpättiä tislattiin 13 000 tonnia. Tuotteet olivat alfapineeniä ja dipenteeniä. Raakamäntyöljyä tislattiin 86 000 tonnia. Tuotteina saatiin

mäntyhartsia 23 000 tonnia, mäntyrasvahappoja 16 000 tonnia, tislattua mäntyöljyä 16 000 tonnia sekä mäntyesiöljyä ja mäntypikeä 31 000 tonnia. Kotimaassa mäntyhartsista tehtiin mm. paperinliimausaineita, mäntyrasvahapoista pinta-aktiivisia aineita ja alkydimaaleja, tislatusta mäntyöljystä taas mäntysaippuaa (Luotonen 1980 a).

Viime aikoina huomiota on kiinnitetty myös polttoainekäyttöön. Pihkatuotteiden hinnan ollessa alhainen ne poltetaan jalostamattomina syntypaikallaan (Luotonen 1980 b). Toisena mahdollisuutena on mainittu käyttö autojen polttoaineena (esim. Pine trees... 1975, Collier 1977), joskin mm. Suomen oloissa ajatusta pidetään ainakin toistaiseksi epärealistisena huolimatta siitä, että erään henkilöautomallin polttoaineena voidaan käyttää jo nyt tärpättiä (Avomaa 1978).

Ainakin poikkeusoloissa kyseeseen voi tulla mäntyrasvahappotisleiden käyttö elintarviketeollisuudessa. Kokeita on tehty siipi- ja nautakarjan ruokinnasta sekä margariinin valmistuksesta (esim. Seppänen ja Antila 1963, Antila ym. 1963, Antila 1964).

Suomessa kiinnostus männyn pihkan lisäämiseen perustuu osin sivutuotelisään sinänsä, osin taas siihen, että raa'an mäntyöljyn laatu on heikentynyt koivun sekakeiton männyn kanssa yleistyessä. Kun koivun uuteaineet ovat olennaisesti erilaisia kuin männyn (esim. Holmbom ja Avela 1971 a, b), männyn komponenttien lisäys raakaan mäntyöljyyn parantaa sen laatua moniin tarkoituksiin ja voi parantaa myös talteenoton mahdollisuuksia (Ranua ym. 1976). Tässä suhteessa runsaasti hartseja sisältävät mäntyraaka-aineet (tervaskannot, parakvaatilla käsitellyt rungot ym.) ovat arvokkaita (Ivermark ja Jansson 1970).

Käsillä olevassa tutkimuksessa pyritään selvittämään kirjallisuuden avulla, millaisia mahdollisuuksia on lisätä pihkatuotteiden määrää raaka-aineen valinnalla sekä käsittelemällä eläviä puita ennen kaatoa. Toisena tavoitteena on tarkastella jälkimmäisen mahdollisuuden käyttökelpoisuutta oman empiirisen aineiston perusteella.

Tutkimuksen aloitteen teki Joutseno-Pulp Osakeyhtiö, jolle laadittiin kirjallisuuskatsaus jo vuonna 1973. Myöhemmin yhtiöstä on saatu runsaasti tietoja heidän tekemistään pihkoittamiskokeista sekä viitteitä muiden tekemistä töistä.

Empiirisen materiaalin keräyksestä huolehti Pertti Laakso työryhmineen. Laboratoriokäsittelyssä olivat pisimpään mukana Tarja Björklund, Tarja Hollo, Leena Kunnari ja Marjo Nordberg. Kirjallisuuden hankinnassa avusti Anna-Liisa Raunio. Käsikirjoituksen puhtaaksikirjoituksesta huolehtivat Aune Rytkönen, Raija Siekkinen ja Leena Turunen. Kuvat piirsi Leena Muronranta. Viimeistelyssä avusti Pirkko Kinanen. Englannin kielen tarkisti Mike Starr. Suomenkielistä osaa paransi Juhani Salmi.

Työn ovat lukeneet Pentti Hakkila, Pentti Nisula ja Kim von Weissenberg.

Kiitän saamastani tuesta.

2. PIHKAPITOISUUDEN VAIHTELU

2.1. Rungon ja kannon pihkapitoisuus

2.1.1. Sydänpuuosuudesta riippumaton vaihtelu

Pihkapitoisuuden vaihtelu puun sisässä voi aiheutua hyvin erilaisista tekijöistä. Näitä ovat mm. ydinsäteiden tylppysolujen ja puutylppysolujen — jälkimmäisten merkitys on tosin männyllä ja kuusella häviävän pieni — osuuden vaihtelu, samoin pihkatiehyiden lukumäärän ja koon sekä niiden rauhassolujen vaihtelu. Sydänpuussa vaihtelua aiheuttaa sinne levinneiden aineiden konsentraatio. Lisäksi mantopuussa vaikuttaa vuodenaika. Männyllä saattaa uuteainepitoisuus olla talvella kaksinkertainen kesään verrattuna (Arrhenius 1942). Keskiarvoluku on kuitenkin olennaisesti alhaisempi, koska sydänpuun uuteainepitoisuus ei vaihtele vuodenajan mukaan solujen ollessa sydänpuussa kuolleita. — Kuusella vuodenajoittainen pihkapitoisuuden vaihtelu on hyvin pieni (Ekman ym. 1979).

Tutkimuksia pihka-aineiden vaihtelun syistä on tehty niukalti. Jäljempänä tarkastellaankin pelkästään vaihtelua sen tarkemmin siihen vaikuttavaa mekanismia pohtimatta.

Jo Mayrin (1894) klassisessa teoksessa esitettiin havainto, että männyllä on pihkapitoisuus suurimmillaan rungon tyviosassa ja kannossa. Ylempänä rungossa pihkapitoisuus pysyy suunnilleen samana lukuun ottamatta oksaista latvuksen osaa, jossa pihkapitoisuus on jälleen korkea. Tätä käsitystä vaihtelusta ovat lukuisat myöhemmät tutkimukset vahvistaneet ja tarkentaneet. Niinpä on havaittu, ettei mantopuussa ole olennaista puun pituuden suuntaista vaihtelua (esim. Kurth ja Sherrard 1931, Trendelenburg ja Schaile 1937, Anderson 1946), vaan uuteaineiden määrä pysyy suunnilleen vakiona. Sen sijaan nimenomaan sydänpuussa on selvä pihka-aineiden keräytymä puun tyvessä ja kannossa ainakin kotimaisella männyllä (esim. Berkel ja Hus 1952, Kontek 1960, Koev 1974).

Esimerkkinä suuruussuhteista voidaan esittää Trendelenburgin ja Schailen (1937, s. 227) mäntyä koskevat tulokset. — Luvut tarkoittavat eräällä liuottimella määritettyä uuteainepitoisuutta.

Korkeus rungossa m kannosta	Pihkapitoisuus %
0	21
0,6	13
2,3	10
4	5—6
16—21	7—9

Toisena esimerkkinä voidaan mainita Zankoffin (1943) tutkimus. Tällöin saatiin mäntyrungon sydänpuussa uuteainepitoisuudeksi 6,4 %, mantopuussa 3,2 %,

kannon sydänpuussa 23,1 %, kannon mantopuussa 4,7 ja juuripuussa 8,1 %. Myös suomalainen Larinkari (1947) mainitsee männyn epänormaalin suuren pihkapitoisuuden tyvessä, muttei anna täsmällisiä lukuja.

Edellä olevat luvut viittaavat siihen, että mäntyrungon tyvessä ja kannossa pihkapitoisuus on noin kaksinkertainen muuhun runkopuuhun verrattuna nimenomaan sydänpuussa. Samaan viittaa myös Kärkkäisen (1973) tutkimus, jossa tutkittiin pihkatiehyellisten ja pihkatiehyettömien ydinsäteiden määrää eri korkeudella. Tulosten mukaan kaatoleikkauksen tasolla voi olla etenkin pihkatiehyellisiä ydinsäteitä kaksinkertainen määrä kahden metrin korkeuteen verrattuna. Mahdollisesti nämä ydinsäteet sinänsä eivät aiheuta voimakasta pihkapitoisuuden kohoamista puun tyvessä, mutta epäilemättä ovat omiaan vaikuttamaan siihen, että sydänpuun muodostuessa pihkapitoisuus nousee normaalia korkeammaksi.

Myös yleisemmin epänormaalin suuri parenkyymisolujen määrä merkitsee voimakasta pihkapitoisuutta. Esimerkiksi Murto (1951, s. 246) mainitsee J. Itkosen tiedonantoon perustuen, että mukuramännyn eetteriuutepitoisuus saattaa nousta aina puoleen kuivasta massasta.

Edellä esitetty kaksinkertainen pihkapitoisuus mäntyrungon tyvessä muuhun runkoon verrattuna merkitsee lähes samaa mäntyöljysaannon kannalta. Tähän viittaavat myös eräät Neuvostoliiton Karjalassa tehdyt havainnot, joiden mukaan männyn tyviosia raaka-aineena käyttämällä saatiin lähes kaksinkertainen mäntyöljysaanto normaaliin verrattuna, eikä sellun saanto vähentynyt tai laatu heikentynyt (Gurich ym. 1961).

Pihkakertymä sijaitsee kannossa siten, että huomattava osa mäntyrungon tyven ja kannon sisältämästä pihkasta saadaan talteen korjaamalla maanpäällinen kannon osa talteen muun tyviosan mukana. Myös aikaisemmin mainitut Zankoffin (1943) ja monet muut tulokset (Hakkila 1975, Sjöholm 1977) osoittavat, että pihkapitoisuus alenee huomattavasti kannosta juuriin. Näin ollen sivutuotesaantoon voidaan voimakkaasti vaikuttaa pelkästään alentamalla kannon korkeutta esimerkiksi maan pinnan tasalle. Keino on tosin tehokkain tukkipuukokoisissa puissa, jotka eivät yleensä tulle kysymykseen sulfaattisellun raaka-aineena. Vain sahapuuksi huonolaatuiset järeät rungot voivat tulla kyseeseen.

Mahdollisesti kyseeseen saattaa tulla myös normaalia matalampaan kantoon tehtyjen mäntyrunkojen 2...3 metriä pitkän tyviosan ohjaaminen massateollisuuteen muun järeän tyviosan mennessä sahateollisuuteen. Tällä tavalla sangen olennainen osa männyn tyven sisältämästä pihkamäärästä saataisiin sulfaattiteollisuuteen. Mainittakoon kuitenkin, että järeän mäntyrungon maanpinnan yläpuolinen osa kannosta muodostaa ainoastaan noin 15 % koko kanto- ja juuripuun raaka-ainemäärästä. Jos sen sijaan mukaan saataisiin paalujuuri, vastaava osuus olisi peräti 58 % (Hakkila 1972, s. 29). Tältä kannalta olisi tarpeen kehittää korjuumenetelmiä, joissa saadaan talteen myös paalujuuri. Tällaisia on tiettävästi myös kehitelty.

Myös kuusella puuaineen korkein uuteainepitoisuus on kannossa. Ero runkopuuhun on kuitenkin pienempi kuin männyllä. Juurissa pihkaa on vain hieman vähem-

män kuin kannossa, siis toisin kuin männyllä (Hakkila 1975, Sjöholm 1977, s. 32). Asetoniuute saattaa kuitenkin antaa harhaanjohtavan kuvan mäntyöljysaannosta sulfaattiselluteollisuudessa: kannon uuteaineiden koostumus poikkeaa niin paljon runkopuusta, että kuusen kantopuussa on rasva- ja hartsihappoja vain puolet siitä mitä runkopuussa (Sjöholm ja Suojoki 1975). Kuusen runkopuussa asetoniuutteen hartsihappojen osuus on 70 % luokkaa (Kahila 1957).

Kuten aikaisemmin on jo todettu, mäntyrungon alinta tyviosaa koskevat pihkahavainnot ovat yleistettävissä myös siihen kannon osaan, johon eivät varsinaiset juuret kuulu. Runsaspihkaisesta männyn kannosta voidaankin saada runsaasti sivutuotteita, suomalaisten kokemusten mukaan jopa 200...300 kg mäntyöljyä sellutonnia kohti. Myös eräät venäläiset havainnot antavat aihetta optimismiin. Niinpä Komšilov ym. (1963) totesivat, että tuoreista meikäläisen männyn kannoista on mahdollista saada 200 kg mäntyöljyä valmistettua selluloosatonnia kohti sellun saannon alentuessa ainoastaan vähäisessä määrin. Tätä mäntyöljymäärää pidetään mainitussa tutkimuksessa nelinkertaisena normaaliin verrattuna.

Tässä yhteydessä on mielenkiintoinen kysymys, ovatko tuoreet ja kauan maassa olleet männyn kannot samanlaisia pihkapitoisuudeltaan. Vanhemmassa kirjallisuudessa on yleensä otettu se kanta, että kypsymistä voi todellakin tapahtua, ts. pihkapitoisuus voi lisääntyä kantojen vanhetessa. Tästä on myös havaintoja ainakin sikäli, että tuoreiden kantojen teknisesti uutettavissa oleva pihkapitoisuus on vähäisempi kuin kypsyneissä kannoissa (Babicki ym. 1969). Useimmat nykyiset tutkijat näyttävät kuitenkin olevan sitä mieltä, ettei varsinaista pihka-aineiden akkumuloitumista tapahdu. Sen sijaan mantopuun lahotessa pois saattaa näennäinen pihkapitoisuuden kasvu olla ilmeinen (esim. Anderson 1949, Sandermann 1960, s. 133, Sannikov ym. 1976). Samaan viittaa myös Andersonin (1954) tutkimus, jossa 7 vuotta vanhojen kantojen uuteainepitoisuus oli 30,2 %, 11 vuotta vanhojen 29,8 % ja 34 vuotta vanhojen 30,3 %.

Nämä tulokset eivät kuitenkaan sulje pois mahdollisuutta, etteikö pihkapitoisuuden lisääntyminen olisi mahdollista muutaman vuoden aikana kaadon jälkeen. Tämä voi johtua mm. Suomessa todetuista mäntyjen elimellisistä juuriyhteyksistä (Yli-Vakkuri 1953) sekä siitä, että parenkyymisolut todennäköisesti elävät varsin kauan kosteana pysyvässä männynkannossa.

Yleisesti ottaen varsinaiseen kantojen kypsyttämiseen ei ole tarpeellista mennä pihkapitoisuuden kohottamiseksi. Luultavaa on, että vanhojen tervaskantojen huomattava pihkapitoisuus johtuu enimmäkseen siitä, että ne ovat peräisin erittäin järeiden ja vanhojen mäntyrunkojen aikakaudelta. Jossakin määrin kantojen kypsymisen ongelmaa voi kuitenkin pitää vielä ratkaisemattomana.

Mielenkiintoisena yksityiskohtana mainittakoon, että monien tutkijoiden käsitysten mukaan soilta saatavat männynkannot ovat pihkapitoisuudeltaan poikkeuksellisen alhaisia. Sekä pohjoismaisten (ks. Murto 1951, s. 45) että neuvostoliittolaisten (Demin ym. 1969, Litvak 1972) käsitysten mukaan männynkantojen pihkapitoisuus on suurimmillaan morenimailla ja pienin soilla. Näin ollen teknisesti

helpoimmin toteuttavissa oleva kantojen korjuu soilta (esim. Hakkila ja Mäkelä 1973) kohdistuu puuraaka-aineeseen, jonka arvo ei ole mahdollisimman suuri sivutuotesaannon kannalta.

2.1.2. Pihkapitoisuus manto- ja sydänpuussa

Yleisen käsityksen mukaan terveen männyn mantopuussa pihka sijaitsee pääasiallisesti ydinsäteiden tylppysoluissa, vapaana pihkatiehyissä sekä pihkatiehyiden epiteelitylppysoluissa. Kun mantopuu muuttuu sydänpuuksi, uuteaineita leviää myös muihin solukkoihin. Sydänpuun muodostumisen vuoksi valtaosa uuteaineista saattaa olla muualla kuin edellä mainituissa tylppysoluissa, lähinnä hajallaan sydänpuussa (Lindgren ja Norin 1969, s. 148, Pensar 1968).

Tämä sydänpuun muodostumisesta aiheutuva pihkapitoisuuden kohoaminen on useiden tutkimusten mukaan huomattava. Esimerkiksi Ekenstam (1930, s. 440) totesi, että eetteriuutteen määrä puun massayksikköä kohti oli sydänpuussa noin kaksinkertainen mantopuuhun verrattuna. Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös myöhemmin mäntyä koskevissa tutkimuksissa. Joskaan sydänpuuhun levinneet aineet ja tylppysolujen sisältämät uutteet eivät ole kemiallisesti samanlaisia — pintapuussa hartsihappoja on hyvin vähän, mutta sydänpuussa runsaasti (esim. Pensar 1967 a) — on selvää, että sydänpuupitoisuus vaikuttaa huomattavasti sivutuotesaantoon. Tämän vuoksi ne toimet, joilla raaka-aineen sydänpuupitoisuutta saadaan lisätyksi, vaikuttavat suoraan mäntyöljysaantoon.

Kuusella pihkapitoisuus on alhaisempi kuin männyllä, ja lisäksi sydänpuu vaikuttaa eri tavalla: sydänpuussa pihkapitoisuus on suunnilleen sama kuin pintapuussa (Hakkila 1968 b, s. 38) tai jopa alhaisempi (Pensar 1967 b, Ekman 1979). Näin ollen sydänpuun osuuden lisääntyessä pihkapitoisuus ei kohoa, toisin kuin männyllä.

2.1.3. Rungon sisäinen sydänpuuosuuden vaihtelu

Lukuisten tutkimusten perusteella tiedetään, että pohjoismaisessa männyssä sydänpuuosuus on suurimmillaan verraten alhaalla rungossa, josta se alenee sekä kantoon että latvaan päin. Tämä maksimikohta on kannon korkeudelta mitattuna 20—30 %:n korkeudella rungon pituudesta. Tällaisen tuloksen ovat saaneet mm. Lappi-Seppälä (1927, s. 40—41), Nylinder (1959, 1961), Tammi-nen (1962) ja Hakkila (1967).

Nuorilla puilla sydänpuuosuuden aleneminen latvaan päin on varsin voimakasta. Männyn vanhetessa sydänpuuta alkaa muodostua yhä nuorempana, ja näin ollen vanhoilla männyillä sydänpuuosuuden suhteelliset erot tasoittuvat huomattavasti. On myös havaittu, että huonoilla kasvupaikoilla maksimikohta on alempana rungossa kuin hyvillä puiden iän ollessa sama (Werberg 1930).

Tätä sydänpuuosuuden rungonsisäistä vaihtelua voidaan periaatteessa käyttää hyväksi erilaisten keittoerien aikaansaamiseksi. On ehdotettu, että tehtaalle tulevat mäntypölkyt jaetaan läpimitan perusteella ryhmiin, joissa sydänpuuosuus vaihtelee

ilmeisesti samansuuntaisesti kuin pölkyn läpimitta (Bruun ja Willberg 1964, Bruun 1965). Käytännössä tällaisen jaon eri keittoeriä differentioiva vaikutus on ilmeisesti kuitenkin pieni, koska sydänpuupitoisuuteen vaikuttavat kovin monet tekijät. Sydänpuuosuudeltaan erilaisten keittoerien aikaansaamiseen pelkän pölkyn läpimitan perusteella kehottaa suhtautumaan varovasti esim. Kärkkäisen (1972) tutkimus.

Rungonsisäisen sydänpuuosuuden vaihtelun vuoksi kannattaa kuitenkin harkita, millaisia mahdollisuuksia on siirtää erityisesti heikkolaatuisimpia tyvitukkeja sahateollisuudesta sulfaatin valmistukseen. Parantunut sivutuotesaanto ei tosin korvaa sahapuun ja kuitupuun välistä hintaeroa nykyisillä hintasuhteilla.

2.1.4. Runkojen välinen sydänpuuosuuden vaihtelu

Tärkein mänty- ja kuusirunkojen sydänpuuosuuteen vaikuttava tekijä on ikä: mitä vanhempi puu on, sitä suurempi osa siitä on sydänpuuta. Näin on havaittu kaikissa sydänpuuosuutta koskevissa tutkimuksissa. Riippuvuus merkitsee myös sitä, että muiden tekijöiden kuin iän pysyessä samoina sydänpuuosuus kasvaa läpimitan suuretessa. Tähän riippuvuuteen pohjautuvat laajoihin aineistoihin perustuvat tilastot, jotka osoittavat sydänpuuosuuden riippuvuutta eri olosuhteissa mm. puun tai puutavaralajin koosta (esim. männyllä Pilz 1907, Eneroth 1922, Werberg 1930, Suomessa Bruun ja Willberg 1964, Bruun 1965, 1967, 1968, Kärkkäinen 1976, s. 116. Ks. myös metodinen kritiikki Kärkkäinen 1972).

Kasvunopeuden vaikutus on ilmeisen monimutkainen. Jos tarkastellaan saman läpimitan omaavia puita, sydänpuuta on nopeakasvuisissa vähemmän kuin hidaskasvuisissa. Jos taas tarkastellaan samanikäisiä puita, nopeakasvuisissa puissa on sydänpuuta enemmän. Tällaisen tuloksen ovat saaneet männyllä Werberg (1930) ja Tamminen (1962), kuusella Tamminen (1964). Myös lehtikuuseen pätee sama säännönmukaisuus (Hakkila ja Winter 1973, s. 21). Edelleen käsitystä tukevat Uusvaaran (1974, s. 83) tulokset, joiden mukaan viljelymänniköissä sydänpuuosuus on poikkeuksellisen alhainen samankokoisiin luonnonmäntyihin verrattuna.

Toisaalta on luotettavia tuloksia siitä, että MT-männikössä on suurempi sydänpuuosuus kuin VT-männikössä samankokoisia puita tarkasteltaessa (Lehto 1954, Bruun 1965). Nämä tulokset ovat ristiriidassa em. yleisemmän mallin kanssa ja kuvastanevat sitä, etteivät ikä ja kasvunopeus ole ainoita sydänpuuosuuteen merkittävästi vaikuttavia tekijöitä. Tunnettua mm. on, että suurilatvuksisten mäntyjen sydänpuuosuus on pienempi kuin pienilatvuksisten (esim. Schwappah 1892, Kinnman 1925, Lappi-Seppälä 1952, Lehto 1954, Kuylenstierna 1967).

Kun hakkuukypsyys määritellään pikemminkin järeyden kuin iän perusteella, edellä olevan perusteella on selvää, että viljelymetsien ja yleensä hoidettujen metsien puuaine on sivutuotesaannon kannalta heikompaa kuin luonnonmetsien puu. Välitöntä raaka-ainepoliittista merkitystä tällä tosiseikalla ei kuitenkaan liene.

Kuusella sydänpuuosuuden merkitys on vähäinen, koska aiemmin todetun mukaisesti pihkapitoisuus ei juuri muutu sydänpuun muodostuessa tai jopa alenee. Mainittakoon kuitenkin puulajien eroista, että kuusella sydänpuuta on noin kolmannes enemmän kuin männyllä (Kinnman 1926, Bruun 1967). Ero vähenee iän mukana (Heiskanen 1970, s. 27).

Runkojen välisen sydänpuuosuuden vaihteluun liittyvät myös maantieteelliset erot. Tunnettua on, että Pohjois-Suomessa sivutuotesaanto on korkeampi kuin Etelä-Suomessa, jopa varsin karkeista tilastoista näkyvällä tavalla (esim. Kalla 1966, s. 149). Ilmeistä on, että erot johtuvat paljolti erilaisesta sydänpuuosuudesta. Tähän viittaa ainakin Hakkilan (1968 b) tutkimus, jonka mukaan männyn mantopuun uuteainepitoisuudessa ei ole havaittavissa maantieteellistä vaihtelua, ja myös sydänpuun uuteainepitoisuuden vaihtelu pohjois—eteläsuunnassa on vähäinen. Tätä osoittaa seuraava jaotelma, joka kuvaa asetoniuutteiden määrää eri leveysasteilla sydän- ja pintapuussa.

Leveysaste	Sydänpuu	Pintapuu
	Asetoniuutteita %	
—62	5,1	3,1
62,01—64,0	4,9	2,9
64,01—66,0	5,3	3,1
66,01—	6,0	3,3

Pohjois- ja Etelä-Suomessa saataviin sivutuote-eroihin vaikuttaa epäilemättä myös se, että selluloosasaanto on pohjoisesta raaka-aineesta pienempi kuin eteläisestä. Näin ollen samansuuruisella uuteainepitoisuudella on sivutuotesaanto selluloosatonnia kohti suurempi Pohjois-Suomessa kuin Etelä-Suomessa (Makkonen 1967). Lisäksi eroon saattavat vaikuttaa erilaiset varastoimisolot ja pohjoisen kylmempi ilmasto (Ivermark ja Jansson 1970).

Edellä esitetyt maantieteelliset näkökohdat tukevat ajatusta, että mäntyraaka-aineen sydänpuupitoisuus on varsin ratkaiseva tekijä sivutuotesaannon kannalta.

2.2. Oksien pihkapitoisuus

Puuaineessa olevat oksat (sisäoksat) ovat tunnetusti pihkaisia, ja myös niiden ympärillä oleva puuaine on usein tavanomaista pihkaisempaa. Esimerkiksi Jayme ja Blischnok (1938) saivat seuraavat pihkapitoisuudet männyn eri osille käyttäessään liuottimena metanoli-bentsoliseosta.

	Pihkapitoisuus %
Rungon mantopuu	3,47
»	5,88
Oksan ympäryspuu	12,13
» juuripuu	29,11
Oksapuu	29,46

Myös muissa tutkimuksissa on saatu korkeita pihkapitoisuuksia rungon puuaineessa oleville oksille. Esimerkiksi Lindgren ja Norin (1969) totesivat,

että rungon sisässä olevien oksien sydänpuu sisälsi 58 % uuteaineita rungon sydänpuun sisältäessä tässä tapauksessa 8,2 %. Näistä luvuista voidaan päätellä, että odotettavissa oleva sivutuotteiden määrä on sitä suurempi, mitä oksaisemmasta puutavarasta on kysymys. Eri asia tietenkin on, korvaako tämä suurempi sivutuotesaanto vähäarvoisen oksamassan osuuden lisääntymisen parempien massojen kustannuksella.

Ulko-oksat eivät ole yhtä edullisia kuin sisäoksat: pihkapitoisuus laskee voimakkaasti siirryttäessä rungon sisässä olevasta oksan osasta oksan kärkeä kohti. Esimerkiksi Bouteljen (1966) tutkimassa mäntyrungossa oksien yläpinnassa pihkapitoisuus oli puun sisässä 45 % ja verraten lähellä runkoa sen ulkopuolella 31 %. Vastaavat luvut oksan alapinnassa olivat 29,5 % ja 21,7 %. Tämän jälkeen pihkapitoisuus vielä aleni saavuttaen varsin alhaisia arvoja.

Mainitussa tutkimuksessa voitiin sitä paitsi todeta, että pihkapitoisuus oli negatiivisesti korreloitunut oksien suuruuden kanssa: mitä isompi oksa, sen pienempi pihkapitoisuus. Toisin sanoen oksat muistuttivat sitä enemmän runkopuuta, mitä suurempia ne olivat. Myös pihkapitoisuutta lisäävän sydänpuun osuus on paksuissakin oksissa varsin vähäinen. Esimerkiksi Hakkila (1968 a) on esittänyt seuraavan jaotelman.

	Oksan paksuus, cm			
	1,1—2	2,1—4	4,1—6	6,1—8
Sydänpuuta %	4	11	19	25

Pihkapitoisuuden alenemiseen oksan kärkeä kohti viittaavat myös ne Hakkilan (1971) tulokset, joiden mukaan uuttamattoman puuaineen tiheys laskee voimakkaasti siirryttäessä rungosta oksan kärkeä kohti. Ilmeistä kuitenkin on, että oksien pihkapitoisuus on keskimäärin ottaen suurempi kuin runkopuun pihkapitoisuus. Vastaavasti voidaan olettaa, että tämä näkyy myös sivutuotesaannossa. Tällaiseen yleistykseen viittaa mm. Alestalon ja Hentolan (1966) tutkimus, jossa karsitun latvan dikloorimetanoliuute oli 1,65 % ja karsitun oksan uute 2,50 %. Samoin Hosia ym. (1971) saattoivat todeta, että oksien uuteainepitoisuus oli rungon uuteainepitoisuutta korkeampi. Tämä näkyy seuraavassa jaotelmassa, jossa on esitetty eräiden uuteaineiden määrä puun eri osissa prosentteina puun kuivasta massasta.

	Runko	Latva	Oksa
Dikloorimetanoliuute	5,7	8,9	7,1
Vesiuute (kuuma vesi)	5,8	7,2	5,3
»	2,2	2,0	3,5

Jonkinlaiseen optimismiin viittaa myöskin Hakkilan ja Paleniuksen (1971) tutkimus, joka koski kokopuuhakkeen keittoa. Kun raaka-aineena käytettiin pienikokoisista karsimattomista mäntyrungoista saatua haketta, sivutuotesaanto pysyi suunnilleen samana saatua sellumäärää kohti. Kun saanto luonnollisesti kohosi oksien ja muiden normaalisti hakkuutähteiksi jäävien puunosien vuoksi, tämä merkitsee sitä, että näissä osissa olevan uuteainepitoisuuden on täytynyt olla varsin korkea. Tämä tulos ei tosin johdu yksinomaan oksaraaka-aineen mukana olosta. Sen merkitys on tässä tapauksessa kuitenkin huomattava, koska kyseessä olivat pienikokoiset rungot, joissa oksien osuus oli huomattavan suuri.

Esitettyjen riippuvuuksien käytännöllinen merkitys on ainakin toistaiseksi pieni. Tulokset kuitenkin viittaavat siihen, että esimerkiksi oksaisten männyn latvuspölkkyjen sulfaattikeiton kannattavuutta pohdittaessa on otettava huomioon sisäoksista ilmeisesti saatava sivutuotehyöty. Vastaavasti on luonnollisesti otettava huomioon myös massan saannon aleneminen ja rejektin lisääntyminen.

2.3. Kuoren pihkapitoisuus

Sulfaattisellun valmistuksessa kuoresta saatavat sivutuotteet kiinnostavat lähinnä siksi, että nimenomaan hakkuutähteitä käytettäessä kuorinta on vaikeasti toteutettavissa. Sinänsä kuorellisen raaka-aineen käyttö lisää lukuisten tutkimusten mukaan kemikaalien kulutusta ja alentaa saantoa — tosin varsinaiseen puuraaka-aineeseen nähden saanto luonnollisesti nousee lisäraaka-aineen myötä.

Männyllä ohut hilsekuori on pikemminkin omiaan lisäämään sivutuotesaantoa kuin vähentämään sitä. Sen sijaan varsinainen kaarna on enemmän tai vähemmän haitallinen uuteainepitoisuudestaan huolimatta. Tämä johtuu mm. siitä, että männyn kuoressa olevat erityisen laajat pihkatiehyet jäävät kaarnan muodostuessa viimeksi muodostuneen peridermin ulkopuolelle ja näin ollen hyödyttömiksi (Trendelenburg ja Mayer-Wegelin 1955, s. 221).

Männyn kuoren pihkapitoisuudesta on tietoja niukalti. Pajarin (1942, s. 12) siteeraaman saksalaisen tuloksen mukaan männyn kuoren eetteriuute oli 5,7 % kuivasta massasta. Tästä oli 80 % hartsi- ja rasvahappoja. Pajarin omissa tutkimuksissa eetteriuutteen määrä vaihteli 4,9 ja 8,5 %:n välillä. Ilmeisesti kummassakin tapauksessa kysymyksessä olivat kaarnattomat mäntyrungot. Aivan ohuissa männyn versoissa ja oksissa uuteainepitoisuus lienee vielä korkeampi. Esimerkkinä kannattaa mainita Pajarin siteeraama Aschanin ja Rantalaisen tulos, joka on esitetty seuraavassa jaotelmassa. Tällöin olivat kyseessä 2...4 vuotta vanhat 1 cm läpimittaiset männyn oksat, jotka oli kerätty toukokuun alussa. Uuttamisjärjestys kulkee vasemmalta oikealle. Näin ollen aluksi uutettiin eetterillä, sitten alkoholilla ja lopuksi vedellä.

	Uuteainepitoisuus %				
	Eetteri	Alkoholi	Vesi	Yht.	Vain vesi
Kuori	19,58	14,76	13,37	47,71	28,50
Puu	7,87	4,19	3,55	15,61	6,62

Kuoren uuteainepitoisuus ei kuitenkaan välttämättä ole kovin selvässä yhteydessä sivutuotesaannon kanssa. Nimenomaan männyn kuorta koskevia tutkimuksia on tosin vähän, mutta eräät kokeet viittaavat kuitenkin siihen, että näennäisen korkeisiin uuteainepitoisuuksiin on syytä suhtautua varovasti. Sitä paitsi on otettava huomioon, että kuori on puuta kevyempää, jolloin massasta mitattu uuteainepitoisuus on helposti korkeampi kuin puuaineessa. — Näistä tekijöistä huolimatta vaikuttaa kuitenkin mahdolliselta, että varsinaisen puuraaka-aineen mukana kuori ei ainakaan olennaisesti alenna sivutuotesaantoa.

3. ELÄVÄN PUUN PIHKAN LISÄÄMINEN

3.1. Puun mekaaninen ärsytys

3.1.1. Kolominen

Tervanpolton aikakaudella kehitettiin menettelytapoja mäntyrunkojen pihkapitoisuuden lisäämiseksi. Sinänsä nämä menetelmät tuskin tulevat kyseeseen enää nykyisin, mutta niistä voi saada eräitä vihjeitä nykyaikaisempien pihkan lisäämistapojen kehittämiseksi.

Tunnetuin pihkapitoisuutta lisäävistä menetelmistä on kolominen eli koloaminen. Kolomisessa poistetaan männyn kuori muutaman metrin matkalta lukuun ottamatta puun pohjoispuolelle jätettävää 4—5 cm kaistaa, joka pitää puun elossa. Usein työ tehtiin useassa erässä muutaman vuoden väliajoin. Lopuksi puut saatettiin kuoria aina 10 metrin korkeudelle saakka (S o l d a n 1862, s. 6, T a l v i t i e 1924, s. 486).

Kolomisen seurauksena puuaineen pihkapitoisuus lisääntyi. Tiedossa ei ole, kuinka suuri tämä pihkapitoisuuden lisääntyminen oli. Olennaista kuitenkin on, että pihkaa tunkeutui kolomisen vuoksi normaalisti pihkattomiin trakeideihin jopa kyllästäen ne. Ilmeisesti kolomisessa männyn parenkyymisolut kuolivat ja tapahtui eräänlainen sydänpuun muodostumiseen verrattava ilmiö, jolloin pihka-aineet levisivät muuhun puuaineeseen. Nykyaikaisempia termejä käyttäen voidaan olettaa, että kolominen aiheutti haavasydänpuun muodostumista.

Haavasydänpuu ei ole mm. kemialliselta koostumukseltaan verrattavissa normaalilla tavalla syntyneeseen sydänpuuhun. Yhteistä sille kuitenkin on kohonnut uuteainepitoisuus ja parenkyymisolujen kuoleminen. Toisaalta haavasydänpuussa parenkyymisolut eivät kuole itsestään kuten normaalissa sydänpuussa, vaan ulkoisten tekijöiden vaikutuksesta. Tärkeää käytön kannalta kuitenkin on edellä mainittu kohonnut uuteainepitoisuus. Tarkkaa syntymismekanismia ei tunneta, mutta haavasydänpuun muodostumista lisää ainakin haavan pysyminen kosteana. Olennaista näyttää olevan myös haavan syntymisaika. Pohjoismaisissa oloissa voi olettaa, että talviaikaan tehdyt tai syntyneet haavat aiheuttavat sydänpuuta vähemmän kuin kasvukautiset haavat. Tällaisen tuloksen on meikäläisellä männyllä saanut mm. saksalainen L y r (1967).

Eräiden vanhojen tervanpolttajien havaintojen mukaan on myös mahdollista, että pihka-aineiden keräytyminen trakeideihin muodostuu voimakkaammaksi, jos mantopuun trakeideissa estetään veden kulku ja näin ollen luodaan tyhjää tilaa.

Esimerkiksi ns. ähtäriläisessä kolomisessa muutama vuosi ensimmäisen kolomisen jälkeen estetään veden nousu latvukseen hakkaamalla koko puun ympärys täyteen lovia. Kuten sanottu, tällä arveltiin olevan suotuisa vaikutus pihkan keräytymiselle (Lassila, ei painov.). — Ajatusta tämän menetelmän tehosta tukee amerikkalainen patentti, jonka mukaan pihkapitoisuus saadaan voimakkaasti nousemaan sahaamalla puun ympäri kolo sydänpuuhun saakka (Anderson 1952).

3.1.2. Pihkominen

Pihkomisella eli pihkanjuoksutuksella tarkoitetaan menetelmää, jolloin tekemällä puuhun haavoja saadaan pihka juoksemaan ulos puusta ja otetuksi talteen. Valtaosaltaan menetelmä perustuu jo olemassa olevien pihkatiehyiden elävien rauhassolujen (epiteelitylppysolujen) tuotoksen hyödyntämiseen. Osittain kyse on myös uusien traumaattisten pihkatiehyiden muodostamisesta ja niiden tuotoksen ottamisesta talteen.

Runsas pihkavuoto eräiden puulajien (erityisesti mäntyjen) haavoista perustuu siihen, että pystysuorat ja ydinsäteissä olevat vaakasuorat tiehyet muodostavat putkiston (Bosshard ja Hug 1980). Kun putkistossa vallitsee suurehko elävien solujen aiheuttama paine, terveellä männyllä yli 50kPa (Barlow 1966), pihka voi siirtyä haavaan laajalta alueelta. Pihkan nopeasta hyytymisestä ulkoilmassa kuitenkin seuraa, että juoksu lakkaa pian. Tämän vuoksi haavat joudutaan tuorestamaan muutaman päivän väliajoin. Mäntylajien suosio taas perustuu siihen, että pihkatiehyet ovat suurempia kuin muilla puulajeilla. Myös mäntylajien sisäisessä vaihtelussa koolla on merkitystä (esim. Schopmeyer 1953, Schopmeyer ym. 1954, Chudnyi 1974). Pihkatiehyiden koon merkitystä osoittaa myös se, että pystysuorat pihkatiehyet ovat tärkeämmät kuin pienemmät pihkatiehyet ydinsäteissä (Zamski 1972).

Traumaattisten, käsittelyn aikana syntyvien pihkatiehyiden merkitys ei ole männyllä ilmeisesti suuri pienestä reagoivan puuaineen määrästä johtuen. Traumaattisia pihkatiehyitä tosin syntyy (esim. Kaludin 1973), mutta huomattavasti vähemmän kuin kuusella (Nylinder 1951), jolla pihkomisen tulos perustuu paljolti juuri traumaattisiin pihkatiehyisiin (Tolkačev ja Sinelobov 1954).

Pihkatiehyiden määrä ei juuri riipu puun iästä, mutta on pinta-alayksikköä kohti suurempi hidaskasvuisissa puissa kuin nopeakasvuisissa (Münch 1919, s. 25, Ollinmaa 1959, s. 35, Stephan 1967). Tästä huolimatta pihkominen kohdistetaan mieluiten suuriin, hyväkasvuisiin puihin niiden suuremman yhteyttämiskapasiteetin vuoksi, mikä ilmenee runsaampana tuotoksena (esim. Bokor 1950, Kloot 1951, Grochowski 1951, Schopmeyer ja Larson 1954, 1955, Bennet 1955, 1957, Bengtson ja Schopmeyer 1959, Pejoski 1960, Romanovskij ja Bestemjannikov 1968, Mishukov ja Kulakov 1970, Kabaev 1971). Myös puuaineen pihkoittuminen paranee puun suuretessa (esim. Novoselov ym. 1976, Clason 1977).

Tietyt pihkomisen yhteydessä tehdyt havainnot ovat kiinnostavia myös tässä yhteydessä. Pihkomisen seurauksena muodostuu nimittäin usein voimakkaasti pihkoittunutta puuainetta, jonka syntyä pyritään mahdollisuuksien mukaan estämään sen alentaessa juoksevan pihkan määrää (esim. A naval stores... 1935, Kalninjš ym. 1963). Ilmeisesti kyseessä on parenkyymisolujen kuoleminen, joskaan se ei selitä yksin puuaineen pihkoittumista. On myös havaintoja, että mekaaninen ja myöhemmin käsiteltävä kemiallinen käsittely vaikuttavat eri tavalla parenkyymisoluihin: mekaanisessa käsittelyssä parenkyymisolut pysyvät paremmin elossa (Zelawski ja Strzalkowska 1964), käytetystä pihkomistavasta tosin riippuen (Kalninjš ym. 1963, Solar 1967). Mäntylajit kuitenkin poikkeavat toisistaan: eräillä pihkomisessa suosituilla mäntylajeilla edes happojen käytöllä ei ole juuri vaikutusta puuaineeseen (esim. Skolnik ja Snow 1946).

Kotimaisella männyllä pihkomisessa haitallinen resinosisilmiö on sitä vastoin ilmeisesti varsin voimakas. Jo tervanpolton myöhäiskaudella pihkottujen mäntyjen käyttöön raaka-aineena kiinnitettiin huomiota (Helander 1919, s. 33). Myöhempien tutkimusten mukaan puuaineen pihkoittuminen on pihkanjuoksutuksessa sitä voimakkaampi, mitä kauemmin ärsytys on kestänyt ja mitä vanhemmasta haavasta on kyse (Komšilov ym. 1967, Vysockij 1969). Voimakkain pihkapitoisuuden nousu on aivan haavan pinnassa (pihkaa yli 30 %), mistä se nopeasti alenee sydänpuuhun päin (Kostov ym. 1962). Sydänpuu ei luonnollisesti reagoi. Keskimääräinen mantopuun pihkapitoisuus saattaa olla 16...18 % tasolla (Mednikov ja Maleva 1965).

3.1.3. Käytännön näkökohtia

Oma ongelmansa on, missä määrin käytännöllistä hyötyä voidaan saada kahdessa edellisessä luvussa kuvatusta puuaineen mekaanisesta ärsytyksestä. Liiallista huomiota ei kannata kiinnittää pelkkään hankalaan mekaanisen ärsytyksen aikaansaamiseen, sillä se on mekanisoitavissa. Jopa niinkin vanhakantaisessa metsänkäyttömuodossa kuin pihkomisessa on tässä koneellistamisessa päästy pitkälle. Kirjallisuudessa on kuvattu varsin tehokkailta vaikuttavia laitteita runkojen kuoren poistamiseksi ja puun haavoittamiseksi (esim. Motorized chipper...1961, Taylor 1968, Chappel ja Harrington 1971, Roberts 1972, Clements ja McReynolds 1974, 1977). Sitä paitsi mekaanisen ärsytyksen huonoa tuottavuutta ei ole syytä liioitella edes yksinkertaisia käsityövälineitä käytettäessä. 1860-luvulla, kun nuoria puita yleisesti kolottiin, päivätuotos oli 200...300 runkoa (A. G. Blomqvists reseberättelser...1959, s. 17).

Erityisesti moottorisahatyökalut soveltunevat hyvin myös Suomen olosuhteisiin, jos jostakin syystä olisi tarpeellista haavoittaa puita.

Sen sijaan todellisena huonona puolena voi mekaanisessa haavoittamisessa pitää puuaineen pihkoittumisen vaatimaa pitkää aikaa. Tervanpolttoa varten kolotut

mäntyrungot saivat seisoa yleensä useita vuosia kolomiskertojen välillä. Pihkomistutkimuksista taas käy selvästi ilmi, että resinosisilmiö vaatii täydelliseksi kehittyäkseen monia vuosia (5...10). Kuitenkaan ei ole täysin poissuljettu sellainen mahdollisuus, että sopivasti tekniikkaa muuntamalla voitaisiin päästä lyhyempiin odotusaikoihin. Ilmeistä kuitenkin on, että tällöinkin aikaa tarvitaan 2...3 vuotta.

3.2. Kemiallisten aineiden käyttö

3.2.1. Hapot ja emäkset

Pihkomisen yhteydessä tehdyt havainnot

Pihkomisen yhteydessä havaittiin ensi kerran, että tietyillä kemiallisilla aineilla, erityisesti hapoilla ja emäksillä, voidaan lisätä pihkomistulosta jopa moninkertaiseksi tai säilyttää tulos samana, mutta vähemmällä haavojen tuorestamistyöllä (esim. Flotyński 1960). Menetelmän keksijä on ilmeisesti latvialainen Kalninsch, joka Kaminskin (1960) mukaan alkoi kokeilunsa jo 1921. Tieteellisessä kirjallisuudessa menetelmä kuvattiin ensi kerran IUFROn Tukholman kongressissa 1929, jonka kokousesitelmissä keksijän oma raportti julkaistiin (Kalninsch 1930). Menetelmä jäi kuitenkin unohduksiin, ja niinpä saksalainen Hassenland sai 1930-luvulla patentin vastaavalle keksinnölle. Hänet mainitaan usein länsimaisessa kirjallisuudessa virheellisesti menetelmän keksijäksi.

Pihkomiskokeissa tehdyillä havainnoilla on oma mielenkiintonsa myös tässä yhteydessä. Voidaan nimittäin olettaa, että pihkomisen tuotosta parantavat aineet vaikuttavat likimain samalla tavalla myös puuaineen pihkoittumista ajatellen. Tämä ei tosin välttämättä pidä paikkaansa, mutta useissa tapauksissa samoilla aineilla on saatu paras tulos sekä pihkomisessa että varsinaisessa puuaineen pihkoittamisessa.

Yleisimmin pihkomisessa on käytetty ärsytysaineena erivahvuisia rikkihappoliuoksia, joko nesteenä tai pastamaiseksi aineeksi jonkin neutraalin aineen kanssa sekoitettuna. Tavallisella rikkihapolla onkin saatu varsin hyviä tuloksia nimenomaan meikäläisellä männyllä. Monet muut mäntylajit näyttävät reagoivan paljon huonommin tällaiseen ärsytysaineeseen (esim. Scheuble 1956, Rajkhowa ja Khan 1962, Cruz Garcia 1971).

Tavallisella männyllä on rikkihapon pihkomistuotosta lisäävä vaikutus vaihdellut voimakkaasti. Kublunin (1936, s. 26) laajassa vertailututkimuksessa 50-prosenttinen rikkihappo lisäsi eräässä tapauksessa tuotosta 125 %, 25-prosenttinen suolahappo 118 % sekä ainoastaan 3-prosenttinen boorihappo 79 %. Jälkimmäinen tulos osoittaa, ettei hapon vahvuus ole ainoa ratkaiseva seikka. Tästä huolimatta on havaittu, että erityisesti rikkihapolla optimi on varsin väkevä liuos tai pasta (esim. Rogalinski ja Flotyński 1961).

Edellä on mainittu rikkihapon pastamuodot. Niiden ajatuksena on ollut vähentää haavapintojen roskaantumista ja lisätä vaikutusaikaa. Tavallisin neutraali aine on ollut kaoliini tai jokin muu savilaji. Näitä pastoja on kehitetty erityisesti Yhdysvalloissa (esim. Clements 1967, 1971 a), mutta niitä on jo aiemmin kokeiltu ja käytössä muuallakin (Sinelobov ym. 1956, Bedenko 1960, Pilarski ja Flotyński 1963, David ym. 1970, Kaludin 1972, David ja Blieck 1974).

Rikkihappoa on eri muodoissa käytetty eri puolilla maailmaa hyvin tuloksin. Yhdysvalloissa käyttö on ollut laajaa ja kokemukset myönteisiä, samoin Neuvostoliitossa ja lukuisissa muissa maissa, missä pihkomista on harrastettu tai harrastetaan (Nilphanij 1953, Abe ja Yokota 1953, Nikolić 1957, Niloanich ja Premrasami 1959, Amazov 1962, Kaludin 1970, Dahman 1975).

Rikkihapon ohella suolahappo on suosittu ärsytysaine. Loycke (1938, s. 273) sai tuotoksen nousuksi 25-prosenttisella suolahapolla 102...175 %. Myös myöhemmin suolahappoa on käytetty runsaasti sekä kokeissa (Bokor ja Lányi 1951, Dudić 1954, Berkel ja Hus 1956) että käytännön mittakaavassa (esim. Meštrović 1954, Čurčić 1958).

Myös muita happoja on kokeiltu, ja yleensä tuotokset ovat nousseet. Poikkeuksia kuitenkin on ollut, mm. fluorivetyhappo (Schmied 1939). Myös eri happojen suoloilla on havaittu olevan vaikutusta, erityisesti rikkihapon (esim. Frolov ym. 1975 c), samoin suolahapon (esim. Radimir 1952). Eräissä tapauksissa suolaliuosten heikkous viittaa siihen, että kyseessä on erilainen vaikutusmekanismi kuin hapoilla (Holliman 1954).

Emäkset vaikuttavat happojen tavoin. Latviassa on menestyksellisesti kokeiltu mm. natrium- ja kaliumhydroksidia (Kalninjš 1953), muualla mm. kalsiumhydroksidia (esim. Liang ja Liu 1955).

Uudenaikaisemmista ärsytysaineista kannattaa mainita erityisesti 2,4-D-happo. Esimerkiksi Clements (1964) ja Harrington (1964) käyttivät tämän hapon aminisuolaa, em. tutkimuksissa 2-prosenttisena vesiliuoksena. Eräissä tapauksissa tällä aineella on saatu samanlaisia tuloksia kuin 50-prosenttisella rikkihapolla. — Mahdollista on, että 2,4-D-happoa on pidettävä rikkihaposta poiketen myöhemmin tarkasteltavana aitona stimulanttina (Sobakinskij ja Sustova 1969).

Aikaisemmin on jo mainittu, ettei vahvoja happoja ja emäksiä voida pitää aitoina stimulantteina. Tästä johtuu, että näiden aineiden teho vähenee vuosien mittaan. Toisaalta pihkan koostumuksessa ei tapahdu muutoksia (Bardyšev ja Čudinov 1960, Bardyshev ym. 1973), toisin kuin mm. parakvaattia käytettäessä.

Samalla kun teho vähenee pihkomisen kannalta, syntyy pihkoittunutta puuainetta parenkyymisolujen kuollessa. Esimerkiksi Kaminski (1964, s. 76) sai tavallisella männyllä tuloksen, jonka mukaan kolmantena vuonna pihkomisen aloittamisesta hapolla käsitelty haava tuotti vähemmän kuin käsittelemätön. Samoin Stephanin ja Götzen (1964, s. 34) tuloksista ilmenee, että hapolla alkuaan 4...6-kertaiseksi

saatu tuotos laskee ajan kuluessa. Vastaavasti voitiin todeta, että 2,5 vuoden happopihkomisen jälkeen haavaan oli syntynyt vahvuudeltaan 2...3 cm oleva pihkoittunut kerros, joka puuttui käsittelemättömistä ja myös yhden vuoden vanhoista hapolla käsitellyistä haavoista (Götze ja Stephan 1964). Samoin myös Kalnins ja Zanderson (1961) havaitsivat, että rikkihapolla käsitellyt pihkomishaavat tulivat puuaineeltaan pihkaisemmiksi kuin käsittelemättömät. Kemiallisten ärsytysaineiden lisäämästä pihkoittumisesta ilmoittivat myös Zanderson ym. (1966), joskin vaikutus oli pieni.

Joissakin tapauksissa vaikutusta ei ole saatu lainkaan. Meikäläisellä männyllä tällaisesta ovat raportoineet kloorikalkkia kemiallisena ärsytysaineena käyttäneet Dyskin ja Sinkevic (1970). Myös Zanderson (1966) suhtautui epäillen kemiallisten aineiden mahdollisuuksiin.

Näiden havaintojen arvoa harkittaessa on syytä kuitenkin muistaa, että kysymyksessä ovat tutkimukset, joissa on pyritty tehostamaan sekä pihkomisen tuotosta että puuaineen pihkoittumista. Kuten aikaisemmin on todettu, jossakin määrin pihkominen ja puuaineen pihkoittuminen ovat ristiriidassa toisiinsa nähden: jos puuaine pihkoittuu voimakkaasti, parenkyymisolut kuolevat ja tällöin pihkomisen eli pihkan juoksutuksen tulos jää pakostakin pieneksi. Toisaalta pihkaa juoksutettaessa tehdään ainoastaan matala haava puun pintaan, eikä koko mantopuu ilmeisesti joudu näin ollen kovin vahvoille kemikalioiden vaikutuksille alttiiksi.

Varsinaisen puuaineen pihkoittaminen

Amerikkalaisen Andersonin (1955, 1956, 1962) tutkimuksia voidaan pitää uraauurtavina puuaineen pihkoittumisongelman kannalta. Sinänsä näissä tutkimuksissa ei ole ilmennyt mitään sellaista, mitä ei olisi tiedetty toisia tarkoituksia varten tehtyjen tutkimusten avulla, mutta samojen ilmiöiden soveltaminen nimenomaan resinosisilmiöön on ollut harvinaista.

Jo kauan on ollut tiedossa, että mäntyihin voidaan aiheuttaa keinotekoista sydänpuuta esimerkiksi poraamalla reikiä mantopuuhun. Myös muunlaiset vastaavat puuaineen haavoittamiset aiheuttavat sydänpuuhun verrattavaa muodostumaa mantopuuhun. Samoin on ollut tunnettua, että vieraiden esineiden tunkeutuminen puuhun aiheuttaa haavasydänpuuta myös sellaisiin puihin, joilla nuoruuden vuoksi ei ole lainkaan varsinaista sydänpuuta. Ilmeisesti näiden havaintojen pohjalta mainittu Anderson kehitti uuden menettelytavan sydänpuun tapaisen muodostuman aiheuttamiseksi mantopuuhun.

Menetelmän olennainen ydin on, että mantoon tehtyihin haavoihin kaadetaan 40-prosenttista rikkihappoa. Tällaisesta käsittelystä aiheutuu voimakas puuaineen pihkapitoisuuden nousu haavojen ympärillä. Verrattuna vastaaviin käsittelemättömiin haavoihin happokäsiteltyjen haavojen uuteainepitoisuus on korkeampi ja niiden

vaikutus on laajemmalla alueella. — Uuteainepitoisuuksia koskevat huomiot eivät tosin ole suoraan yleistettävissä meikäläiseen mäntyyn, koska Andersonin kokeiluissa käytettiin ponderosamäntyä ja jeffreynmäntyä.

Kokeissa käytetty mantopuun haavoittamismenettely oli yksinkertainen. Metallikiilalla tehtiin mantopuuhun vinosti alaspäin syviä koloja, joiden osuus koko rungon ympäryksestä oli noin ¼...⅓. Näissä kokeissa haavat sijaitsivat noin 40 cm maasta, joskaan tätä korkeutta ei voi pitää menetelmän kannalta olennaisena.

Ainoastaan 150 päivän kuluttua oli havaittavissa selvä pihkoittumisreaktio puuaineessa. Erilaisten ilmasto-olosuhteiden vuoksi on mahdotonta sanoa, missä määrin tämä huomio on yleistettävissä meikäläisiin olosuhteisiin. Voi kuitenkin pitää mahdollisena, että vastaava reaktio syntyy jo yhden ainoan kasvukauden aikana myös Suomessa.

Mielenkiintoa resinosisilmiötä kohtaan on tunnettu myös Neuvostoliitossa. Siellä tehdyt tutkimukset ovat erityisen mielenkiintoisia Suomen kannalta, koska kohde on sama mäntylaji. Rupajs ja Kalnins (1964) tutkivat männyn puuaineen pihkoittumista silloin, kun puun tyven pintapuuhun tehtiin noin 30 cm pitkiä, 2 cm leveitä ja 1 cm syvyisiä haavoja. Ärsytysaineena käytettiin 96-prosenttista rikkihappoa, 30-prosenttista natriumhydroksidia ja kyllästettyä sinkkikloridiliuosta. Tulosten mukaan, kun puut kaadettiin 13:n tai 31:n kuukauden kuluttua, mantopuussa oli havaittavissa selvää pihkoittumista. Kun otetaan huomioon haavojen mataluus, ei ole ihme, että pihkoittuminen oli voimakkainta mantopuun uloimmassa ja vähäisintä sisimmässä kerroksessa. Pihkoittumista oli havaittavissa jo 13 kuukauden jälkeen, mutta se lisääntyi 31:een kuukauteen mennessä. Parhaat tulokset saatiin käyttämällä 30-prosenttista natriumhydroksidia.

Eräässä toisessa tutkimuksessa (Dyskin ja Romanovskij 1965) taas kokeiltiin pihkomisen ja puuaineen pihkoittamisen yhdistelmää. Tällöin männyn runkoon tehtiin verrattain iso pintahaava, johon keräytyvä pihka raaputettiin aikanaan sivutuotteena pois. Ärsytysaineena käytettiin pääasiassa kloorikalkkia, mutta myös rikkihappoa, jotka molemmat antoivat tyydyttävänä pidettäviä tuloksia.

Kemiallisten ärsytysmenetelmien kehittämiseksi on syytä tarkastella niitä syitä, jotka loppujen lopuksi aiheuttavat puuaineen pihkoittumisen. Tätä kysymystä ei ole kuitenkaan perusteellisesti tutkittu. Ilmeistä kuitenkin on, ettei olennaista ole esimerkiksi tietyn vahvuisen rikkihapon käyttö. Kuten edellä on todettu, pihkoittumista on voitu lisätä myös vahvoilla emäksillä. Myös se tiedetään, etteivät rikkihappo ja muut vastaavat aineet stimuloi pihkaa tuottavien solujen toimintaa. On tosin olemassa myös aitoja stimulantteja, mutta vahvat hapot ja emäkset eivät tiettävästi kuulu niihin.

Olennaisesti pihkoittumisvaikutus johtunee siitä, että vahvan hapon tai emäksen vaikutuksen ansiosta parenkyymisolut supistuvat kokoon pihkatiehyissä, jolloin pihka pääsee paremmin siirtymään paikasta toiseen (esim. Valentini 1957, Ostrom ym. 1958, Kalnin'š ym. 1962, Kaludin 1972, Pardos Carrion 1974). Mahdolliselta myös tuntuu, että vahva happo tai emäs tuhoaa huokosia, jolloin pihka voi levitä trakeideihin. Edelleen on mahdollista, että mainitut vahvat

ärsytysaineet vaikuttavat kauempana sijaitseviin tylppysoluihin stimuloivasti, lähinnä aktivoimalla niiden toimintaa ennen niiden kuolemaa. — Tätä teoriaa tukevat Kishiman ja Hayashin (1961) tulokset, joiden mukaan pihka-aineet todellakin leviävät pihkoittumisessa trakeideihin ja yleensä sellaisiin paikkoihin, joissa niitä ei alunperin ole. Toistettakoon myös jo aikaisemmin mainittu Zelawskin ja Strzalkowskan (1964) tulos, jonka mukaan nimenomaan kemiallisesti käsitellyissä haavoissa parenkyymisolut ovat kuolleet.

Edellä olevat teoriahahmotelmat ovat kuitenkin ainoastaan alustavia. Kaikissa tapauksissa reaktiota ei ole saatu aikaan vahvoilla hapoilla tai emäksillä, ja toisaalta on myös tapauksia, jolloin erittäin heikoilla hapoilla pihkomissaanto on huomattavasti lisääntynyt. Nämä havainnot viittaavat siihen, että kysymyksessä on varsin monimutkainen ilmiö.

3.2.2. Eritystä stimuloivat aineet

Tähän mennessä käsitellyt pihkomisessa käytetyt kemialliset aineet perustuvat puuaineen tai oikeastaan sen parenkyymisolujen ryöstöviljelyyn. Nämä aineet eivät sinänsä lisää solujen pihkaa, vaan väkivaltaisesti avaavat pihkatiehyitä ja parantavat pihkanjuoksua. Vastaavasti ne myös vaikuttavat edullisesti pihkoittuneen puuaineksen syntyyn. Sen sijaan aidot stimulantit lisäävät pihkan erittymistä soluista vaikuttamalla niiden aineenvaihduntaan. Tarkkaa mekanismia ei tunneta, mutta useilla aineilla on saatu pihkan erittyminen lisääntymään useiksi vuosiksi.

Koska aidot stimulantit edistävät pihkaa erittävien solujen toimintaa, mutta eivät vaikuta esimerkiksi huokosiin, puuaineen pihkoittumista ei yleensä tapahdu. Jos siis aitoja stimulantteja halutaan käyttää hyväksi puuaineen pihkan lisäämisessä, niiden lisäksi täytyy käyttää sellaisia aineita, jotka mahdollistavat puuaineen pihkoittumisen. Tällaiseen mahdollisuuteen viittaa ainakin Kolosenkovan ja Mednikovin (1972) tutkimus. Tässä tutkimuksessa nimittäin havaittiin, että käyttämällä haavoihin sekä väkevää rikkihappoa että murskatuista neulasista saatua stimulanttia, pihkan eritys lisääntyi enemmän kuin kaksinkertaiseksi siitä, mitä saatiin yksinomaan rikkihapolla. Puuaineen pihkoittumista ei tarkasteltu, mutta sitä voi kuitenkin pitää todennäköisenä rikkihapon käytön seurauksena.

Yleisimmin käytetty aito stimulantti on sulfiittispriitä valmistettaessa jäävä jäteliemi. Tämän rinnakkaismuotona on käytetty myös sulfiittijätelientä. Tällaisten aineiden pihkan tuotosta lisäävästä vaikutuksesta on lukuisia raportteja itäryhmän maista (Szczerbakow 1963, Grochowski 1967, Komissarov ym. 1968, Kirov 1969, 1974, Vink ja Orlov 1971, Blyumin ym. 1974, Kaludin 1975). Vaikuttavia aineita ei ole ilmeisesti tarkoin selvitetty, joskin ainakin lignosulfonihapot ja liuoksessa olevat kivennäissuolat on mainittu vaikuttavina aineina (Grochowski 1967). Eräissä tapauksissa vaikutusta on terästetty muilla aineilla, mm. MCPA:lla (Stephan 1975).

Aitoja stimulantteja ovat myös eräät sieniuutteet, joiden koostumusta ei ole tarkoin tutkittu. Tulokset ovat olleet joka tapauksessa lupaavia (esim. Andre 1964, Stephan 1971, Frolov ja Vasil'ev 1974).

Myös muita aitoina stimulantteina pidettäviä aineita on mainittu kirjallisuudessa. Eräitä on käytetty yhdessä rikkihapon kanssa (esim. Tsakars ja Lazda 1976).

3.2.3. Parakvaatti

Merkittävin viime vuosikymmeninä tehty keksintö puuaineen pihkoittamiseksi on käyttää parakvaattia tai sen lähisukuisten aineiden (mm. dikvaatti) vesiliuosta 0,1...30 % vahvuisena eläviin puihin. Länsimaisessa kirjallisuudessa menetelmän keksijöiksi mainitaan amerikkalainen Roberts ja hänen työtoverinsa. Ensimmäinen selostus julkaistiin 1973 (Roberts 1973). Patentti myönnettiin seuraavana vuonna (Method of chemically...1974). Käsillä olevaa raporttia varten on kuitenkin löydetty neuvostoliittolainen julkaisu edelliseltä vuosikymmeneltä (Komissarov ym. 1968). Kun mainitussa tutkimuksessa pyrittiin lisäämään pihkomistuotosta ja parakvaatti alensi sitä puuaineen voimakkaan pihkoittumisen vuoksi, havainto jäi esitellyksi raportissa ohimennen ja siten monilta havaitsematta. — Mainittakoon, että myös muissa tutkimuksissa on havaittu parakvaatin ja dikvaatin alentavan pihkomistuotosta (esim. David ym. 1975).

Parakvaatin tarkkaa vaikutusmekanismia ei tunneta. Se ei lisää fotosynteesiä, vaan pikemminkin vähentää sitä (Zinkel 1975 c, Stone 1977). Samoin myös juurten kasvu heikkenee tai lakkaa kokonaan pientenkin parakvaattimäärien vuoksi (Schwarz ja Winston 1976). Muutoin elintoiminnot vilkastuvat puussa. Tämä on tavallinen reaktio subletaalisiin myrkkyannoksiin. Mahdollisesti vaikutus tapahtuu etyleenin kautta. Parakvaatti nimittäin stimuloi etyleenin muodostumista, ja etyleeni lisää pihkan muodostumista (Wolter ja Zinkel 1976, Wolter 1977).

Kun parakvaatti ei edistä fotosynteesiä, pihkan lisäyksen täytyy tapahtua muiden yhteyttämistuotteiden kustannuksella. Näin on myös havaittu: tärkkelyspitoisuus alenee voimakkaasti parakvaatilla käsitellyissä puun osissa (Brown ym. 1976, Schwarz ym. 1977). Vastaavasti puuaineen kasvu alenee voimakkaasti (Squillace ja Moyer 1976, Nix 1977).

Parakvaatin oletetun vaikutusmekanismin mukainen on havainto, että puuaineen lisäpihkan tuottavat pääasiassa ydinsäteiden tylppysolut, ei pihkatiehyiden sekreettisolut (Miniutti 1977, Sachs 1978). Huokoset säilyvät ehjinä, ja näin pihka liikkuu vain hitaasti diffundoituen. Pihkoittumiseen liittyy samanaikainen voimakas kuivuminen, jolloin kosteus alenee jopa sydänpuun kosteutta alhaisemmaksi (esim. Sioumis ja Lau 1976, Sachs 1978).

Parakvaatti on hyvin polaarinen, ja näin ollen se sitoutuu herkästi puun selluloosaan (Brown ja Nix 1975). Ilmeisesti tästä syystä voimakas pihkoittumisreaktio

on usein hyvin paikallinen, jolloin valtaosa pihkan lisäyksestä saadaan 2...3 m mittaisen tyvipölkyn alueella (esim. Nix 1976, Wroblewska ym. 1977, Peters ja Roberts 1978). Etelän keltamännyillä reaktion on kuitenkin havaittu nousevan epätavallisen korkealle rungossa.

Parakvaattia on käytetty vaihtelevia määriä 0,1...30 % liuoksina. Suuri vaihteluväli johtuu mm. olosuhde-eroista. Esimerkiksi Yhdysvaltojen etelävaltioissa suositellaan valtapuiden ja lisävaltapuiden käsittelyä parakvaatilla, koska ne reagoivat parhaiten (Clason 1977). Tällaiset puut kestävät kuolematta olennaisesti toisenlaisia annoksia kuin esim. pohjoismaiset alikasvospuut. Hyönteistuhoriski näyttää kuitenkin lisääntyvän liuosvahvuuden kasvaessa, ilmeisesti puiden kunnon heikkenemisen vuoksi (Marton 1975).

Yhdysvalloissa, missä parakvaattikäsittelyä on harrastettu eniten, hyönteistuhot ovat ilmeisesti vaikein ongelma käytännön mittakaavassa toimittaessa (Beers 1975, Drew 1977). Hankalimpia ovat hyönteislajit, jotka iskeytyvät helposti insektisideillä käsiteltävissä olevan rungonosan yläpuolelle (Hertel ja Williams 1975). Rungon alaosan käsittelyyn on olemassa tehokkaita torjunta-aineita (esim. Moore 1977, Hastings ym. 1977), mutta mm. Suomen oloissa laajamittainen insektisidien käyttö ei voine tulla kyseeseen puuaineen pihkoittamisen yhteydessä jo yleisen mielipiteen vuoksi. Jossakin määrin hyönteistuhon riskiin voinee vaikuttaa sillä, ettei tehdä hyönteisiä houkuttelevia avohaavoja (Hertel ym. 1977), vaan injektoidaan parakvaatti kuoren alle neulalla (Drew ja Joyce 1975, Bailey 1976). Menetelmä ei näytä kuitenkaan olevan niin tehokas kuin kuoren poisto ja haavan käsittely parakvaatilla (Marton ja Marton 1976, Drew 1976 a, Joyce ym. 1977).

Puulajien reaktio vaihtelee voimakkaasti. Mäntylajit reagoivat parakvaattiin voimakkaasti pihkoittuen. Parhaat tulokset on saavutettu ilmeisesti etelän keltamännyillä (Kidd ja Reid 1979). Sitä vastoin kuusilajit ja erityisesti hemlokit, jalokuuset, lehtikuuset ja douglaskuusi reagoivat vähän tai ei lainkaan (Rowe ym. 1976, Kiatgrajai ym. 1976, Conner ym. 1977 a, b, Sandberg ym. 1977).

Lisääntyvä pihka on pääasiassa terpeenejä ja hartsihappoja. Sitä vastoin rasvahapot eivät lisäänny, ts. niiden suhteellinen osuus jopa vähenee (Ranua 1975, Drew ja Joyce 1975, Holton ja Winston 1976, Conley ym. 1977). Tästä saattaa aiheutua se, että käytännössä rasvahappoja saadaan entistä vähemmän talteen (Conner ym. 1980). Terpeenien koostumus saattaa myös muuttua, lähinnä siten, että betapineenin osuus kasvaa ja alfapineenin alenee (Ranua 1975, Conley ym. 1976, Drew 1976 a, b, Drew ja Roberts 1977).

Pihkan lisäyksen määrästä olevat tiedot vaihtelevat paljon. Osin syynä on käsitteiden vaihtelu. Joskus on tarkasteltu pelkästään reagoineen puuaineen pihkapitoisuutta ja todettu, että pihkan määrä on parakvaatin ansiosta kasvanut kymmenkertaiseksi tai vieläkin suuremmaksi. Jos on tarkasteltu pihkan lisäystä koko rungon käyttöosassa, määrä on kaksinkertaistunut. Alimmassa 1,5...3,0 m pölkyssä pihka on parhaimillaan ehkä kolminkertaistunut (esim. Drew ja Joyce 1975, Roberts

1976, Drew ja Roberts 1978). Suomessa on Oy Hercofinn Ab:n julkaisemattomien kokeiden sekä eräiden yksittäishavaintojen mukaan tyvipölkyn pihkapitoisuus suunnilleen kaksinkertaistunut parakvaattikäsittelyn ansiosta.

Mainittakoon, että itäsaksalaisen käsityksen mukaan kotimainen mänty reagoi parakvaattiin niin huonosti amerikkalaisiin mäntylajeihin verrattuna, ettei tavanomaista puuaineen pihkomista kannata korvata puuaineen pihkoittamisella parakvaatin avulla ja tuotteen talteenotolla sulfaattikeitossa (Stephan ja Fest 1980).

Sellun valmistus käy sulfaattimenetelmällä ongelmitta myös parakvaatilla pihkoitetusta puusta: vain sivutuotesaanto lisääntyy, mutta keitto, valkaisu ja paperin valmistus sujuvat tavanomaisesti (Wilson 1975, Waite 1977, Hurley ym. 1977). Tarkasti ottaen sellun lujuus alenee, erityisesti repäisylujuus (Laundrie ja Zinkel 1975, Miller ja Rothrock 1975, Landry 1977), mutta tällä ei odoteta olevan olennaista merkitystä käytännössä, koska pihkoittunutta puuta käytetään joka tapauksessa seoksena tavallisen hakkeen kanssa. Parakvaatin myrkyllisyydestä ei aiheutune haittaa lopputuotteessa, koska parakvaatti hajoaa alkaalisessa keitossa (Earle 1975).

3.2.4. Kemiallisten aineiden saattaminen puuhun

Vanhanaikaisin käsityövälinein tehdyssä pihkomisessa työn tuottavuus on alhainen myös kemikaaleja käytettäessä. Työtä voi tosin tehostaa käyttämällä aiemmin kuvattuja jyrsinlaitteita ja vastaavia (luku 3.1.3), jonka jälkeen pastamaiset kemialliset ärsytysaineet voidaan helposti annostella putkilosta ja nestemäiset suihkutuskannulla.

Nestemäisiä aineita varten on kehitetty myös laitteita, joilla päästään jatkuvaan automaattisesti kertautuvaan ärsytykseen (Komarovskij 1955, Kaminski 1960, Method of...1961, Tree treatment...1968, Verfahren zum...1971).

On myös konstruoitu laitteita, joilla samanaikaisesti rikotaan puun pinta ja kemikaali annostellaan siihen (esim. Krylov ja Shichev 1974 a, b, Schillings ja Sanders 1975). Näiden käytöllä voidaan päästä korkeaan työn tuottavuuteen myös suomalaisissa olosuhteissa, kun käsittely tehdään parakvaatilla. Rungon tilavuusyksikköä kohti kustannukset saattavat kuitenkin kohota suuriksi pienillä puilla, koska käsittelyn tuotos (runkoa aikayksikössä) ei juuri riipu rungon koosta (Stone 1975). — Aiemmin on myös jo mainittu laitteet nesteen injektoimiseksi puuhun sekä niistä saadut kokemukset.

3.3. Biologiset ärsykkeet

Kun luonnonolosuhteissa on usein havaittu, että monet sienet iskeytyessään eläviin puihin aiheuttavat puuaineen pihkoittumista, on herännyt ajatus käyttää keinotekoista sienten istuttamista pihkan juoksun tai pihkapitoisuuden lisäämisessä.

Varhaisimmat kokeet koskivat pihkanjuoksutusta. Lukuisissa kokeissa havaittiin, että eräät puuhun inokuloidut sienet lisäsivät tuotosta ainakin jonkin aikaa (Clapper 1954, Hepting 1954, Kolosenkova 1975). — Aiemmin on jo mainittu sieniuutteet, jotka vaikuttavat samalla tavalla.

Useilla sienilajeilla on saatu mäntypuu pihkoittumaan voimakkaasti (Schopmeyer ja Maloy 1960). Myös Shain (1967) sai lupaavia tuloksia loblollymännyn inokuloinnista. Kun sienen saastuttamat puut tutkittiin 3...15:n kuukauden jälkeen, oli havaittavissa voimakas pihkapitoisuuden nousu, jolloin uuteaineita saattoi olla jopa yli 30 % vastareaktion saaneessa puun kohdassa. Tämä uuteainepitoisuus oli noin kuusinkertainen verrattuna normaaliin sydänpuussa tavattavaan määrään.

Suomea vastaavissa olosuhteissa tällaisia kokeita ei ole tiettävästi tehty. Ilmeisesti mahdollisuuksia kuitenkin lienee — onhan tunnettua esimerkiksi tervasrosotaudissa ilmenevä voimakas männyn puuaineen pihkoittuminen (esim. Pohjakallio 1963, s. 250). Se rajoittuu pelkästään taudin tappaman jällen alle, mutta siellä pihkapitoisuus voi olla noussut aivan pinnassa kymmenkertaiseksi ja alempana kaksinkolminkertaiseksi. Sydänpuu ei luonnollisesti reagoi (Sirviö ym. 1938). Puuyksilöstä toiseen pihkoittuminen näyttää vaihtelevan voimakkaasti (esim. Hertz 1930, s. 26).

Tuntematonta lienee, missä määrin kyseessä ovat pelkästään sienirihmastojen aiheuttamat reiät puuaineessa ja missä määrin sieni aiheuttaa myös muunlaista puuaineen biologistyyppistä ärsytystä.

3.4. Pihkatiehyiden ja ydinsäteiden lisääminen

Eräillä keinoilla on mahdollista vaikuttaa käsittelyn jälkeen syntyvään puuaineeseen. Tähän saakka on selostettu ainoastaan sellaisia menetelmiä, joilla pyritään saamaan aikaan suotuisia muutoksia jo syntyneessä puuaineessa.

Kun tarkoituksena on vaikuttaa nimenomaan syntyvään puuaineeseen, päähuomio kannattaa kiinnittää pihkatiehyiden ja niiden sisältämien epiteelitylppysolujen tai mahdollisesti yleisemmin tylppysolujen lisäämiseen esimerkiksi vaikuttamalla ydinsäteiden määrään. — Männyllähän parenkyymisoluista on valtaosa ydinsäteissä.

Eräillä kasvuhormoneilla voidaan vaikuttaa syntyvän puuaineen laatuun. Fahnin ja Zamskin (1970) tutkimalla täysikasvuisella aleppomännyllä pystysuorien pihkatiehyiden määrä saatiin kasvamaan eniten käyttämällä 0,3-prosenttista 2,4-D-happoa. Tällöin pihkatiehyiden määrä tuli yli kaksinkertaiseksi kontrolliin verrattuna, jolloin puuhun tehtiin ainoastaan kontrollihaava. Vastaavia tuloksia on saatu myös muilla aineilla, eritoten heteroauksiinilla. — Myös puun luontaisia kasvuhormoneja voidaan käyttää hyväksi. Itse asiassa puuta haavoitettaessa syntyy vastaava reaktio muodostuvaan puuaineeseen. Menetelmän soveltamisen ainoa haittapuoli on, että mänty reagoi heikosti tällaisiin ärsykkeisiin ja muodostaa niukasti patologisia pihkatiehyitä esimerkiksi kuuseen verrattuna (Nylinder 1951). Näin ollen ei ole kovin suuria mahdollisuuksia käyttää hyväksi puun luontaisia reaktioita.

Edellä mainitussa israelilaisessa kokeilussa reaktio oli nopea. Annetut aineet aiheuttivat jo yhden kasvukauden kuluessa epänormaalin pihkapitoista solukkoa. Kuitenkin useissa tapauksissa syntyi 10—20 trakeidikerrosta, joissa muutoksia ei ollut havaittavissa käsittelyn jälkeen. Suomen oloja ajatellen menetelmän heikkous on, että huomattavien pihkapitoisten puuainemäärien tuottaminen vie runsaasti aikaa. Sitä paitsi tähänastisissa kokeissa ei ole pystytty tyydyttävästi ratkaisemaan aineiden levitysongelmaa. Reaktio on ollut voimakas sillä kohdalla runkoa, johon kasvuhormoni on ruiskutettu, mutta esim. jo puolen metrin päässä tästä kohdasta aineen vaikutus on ollut likimain olematon. Kun nämä aineet vaikuttavat ainoastaan muodostuvaan puuaineeseen, kokonaisuutta ajatellen vaikutus on pieni.

Hormonien käyttö pihkoittamisessa vaikuttaa epätodennäköisemmältä kuin eräiden muiden aikaisemmin mainittujen keinojen kokeilu. Mahdollisesti tekohormoneilla saattaa kuitenkin tulevaisuudessa olla merkitystä nimenomaan kaadetun puutavaran käsittelyssä. Ilmeistä nimittäin on, että ilman tällaisia hormoneja on vaikea saada minkäänlaista reaktiota kaadettuun puuhun, vaikka parenkyymisolut pysyvätkin varsin kauan elossa, kuten myöhemmin lähemmin tarkastellaan.

Hormonien lisäksi on kokeiltu muita keinoja pihkatiehyiden ja parenkyymisolujen määrän lisäämiseksi kasvavassa puuaineessa. Erityisesti gammasäteilyä on käytetty (Lazda ja Odincov 1967, 1968, 1969, Lazda 1971). Gammasäteillä on käsitelty sekä täysikasvuisia mäntyjä että pieniä taimia. Säteilyttämällä on onnistuttu vaikuttamaan sekä aikaisemmin syntyneen puuaineen pihkapitoisuuteen että muodostuvan puun laatuun. Käytännössä varsin lyhytaikaisella käsittelyllä voidaan vaikuttaa pitkän aikaa puun olemukseen. Epäilemättä tällaisten menetelmien soveltamisessa olisi käytännössä lukuisasti vaikeuksia, mutta itse perusajatus, vaikuttaminen verraten laajaan puumassaan varsin yksinkertaisin keinoin, vaikuttaa lupaavalta.

3.5. Käsiteltyjen puiden arvo

Eläviä puita käsiteltäessä vaikutetaan pihkomisessa puun arvoon teollisuuden raaka-aineena tai käyttöarvoon sellaisenaan. Lisäksi saatetaan vaikuttaa mm. siemensatoon, jolla on merkitystä metsää luontaisesti uudistettaessa, hyönteis- ja sienituhoriskeihin, kasvuun jne. Jälkimmäiset näkökohdat ovat merkittäviä myös puuaineen pihkapitoisuuden kohottamisessa.

Yleinen käsitys pihkomisen tai puuaineen pihkoittamisen vaikutuksesta kasvuun on, että kaikki pihkaa lisäävät toimet vähentävät syntyvän puuaineen määrää (esim. David 1951, Gomes 1954, Hengst ja Günther 1965, Koch 1972, s. 1480, Frolov ym. 1975 a, b). Tämä on luonnollista ajatellen, että yhteyttämistuotteita on rajallinen määrä. Lisäksi etenkin pihkomisessa vaikuttaa haavojen vuoksi vähenevä johtosolukkojen määrä. Vaurioitetun kehän osuus onkin hyvä kasvunalenemisen selittäjä (Gavrilov 1952, Schopmeyer 1955 a).

Kasvun alenemisen määrästä on vaihtelevia käsityksiä. Varovaisen pihkomisen on havaittu alentavan vuosiluston paksuutta ja kesäpuun osuutta suhteellisen vähän (esim. Göhre 1956, Stephan 1976). Käsittelyn alussa on voitu havaita jopa kasvun lisääntymistä ennen sen kääntymistä laskuun (Kulakov 1972). Suurimmat kasvutappiot on havaittu pitkällisen käsittelyn seurauksena. Kasvun alenemisella on yhteys myös lisääntyneen pihkan määrään (esim. Vysockij 1966), kuten luonnollista onkin. — Olosuhteiden erilaisuudesta johtuen ei voida päätellä tehtyjen tutkimusten perusteella, millaisiksi kasvutappiot muodostuisivat Suomen oloissa. Suunta on joka tapauksessa selvä kasvutappioiden minimoimisen kannalta: kannattaa pyrkiä mahdollisimman lyhyeen vaikuttamisaikaan puuaineen pihkoittamisessa.

Vaikka Suomen oloissa pihkoittunutta puuta ei voidakaan ajatella käytettäväksi sellaisenaan erilaisiin mekaanista lujuutta vaativiin tarkoituksiin, mainittakoon ulkomaisten tutkimusten perusteella, ettei lujuus kovin voimakkaasti heikkene puuaineen pihkoittumisen seurauksena (esim. Austerweil ja Roth 1917, Göhre 1956, Enčev ja Kostov 1959, Pejoski 1959, Giordano 1959, Kinastowski 1959, Kinastowski ja Szczepański 1960, Laurow 1973). Eräät lujuusominaisuudet saattavat jopa parantua. Toisaalta työstö vaikeutuu, samoin liimaus (Perkitny ja Kryczko 1949, Clark ja Schroeder 1970, 1971). Aitapaalujen valmistuksessa (Loycke 1951, s. 38—39), mikä Suomen oloissa ehkä saattaisi tulla kyseeseen, näillä seikoilla ei ole merkitystä.

Vähäistä epäsuoraa hyötyä pihkapitoisuuden kohottamismenetelmistä voidaan saada suurentuneiden siemensatojen muodossa (Turpentining increases...1956, Vorob'ev 1970, Paramonov 1970, 1971, 1975). Olennaista merkitystä ilmiöllä voi olla vain siemenpuumänniköissä — joiden pihkoittamista ei voida ajatella Suomen oloissa — ja sitä paitsi aina ei ole havaittu suotuisaa vaikutusta (Crivellari 1956, Velkov ja Kaludin 1970). Näin ollen nämä hyötyvaikutukset ovat Suomessa varsin teoreettisia.

Kasvutappioiden ohella merkittävin potentiaalinen tappio lienee odotettavissa hyönteistuhoista. Jo pihkomisen yhteydessä tehtiin havaintoja hyönteisvaaroista mm. Yhdysvalloissa (esim. Schopmeyer 1955 b), ja puuaineen pihkoittamisessa hyönteistuhot ovat muodostuneet paikoitellen todelliseksi ongelmaksi. Insektisidien käyttö onkin Yhdysvalloissa varsin vakiintunutta mm. parakvaattia käytettäessä.

4. VALMIIN PUUTAVARAN PIHKAPITOISUUDEN LISÄÄMINEN TAI ALENEMISEN ESTÄMINEN

Kiistelty kysymys on, voidaanko erilaisin toimin vaikuttaa jo kaadetun puun pihkapitoisuuteen. Varsinaisia tätä ongelmaa koskevia tutkimuksia ei näytä kuitenkaan olevan. Murto (1951, s. 47) tosin väitti Whiten (1949) tutkimukseen viitaten, että vaikuttaa mahdolliselta lisätä myös kaadetun puun pihkapitoisuutta. Tarkempi mainitun tutkimuksen (White) analysointi kuitenkin osoittaa, että kysymyksessä on puhdas spekulaatio. Mitään ei ole toistaiseksi osoitettu sen teorian puolesta, että myös kaadetun puun puuaineessa pihkapitoisuus voisi lisääntyä.

On tosin osoitettu, että parenkyymisolut voivat suotuisissa olosuhteissa säilyä pölkyissä elossa varsin kauan. Feist ym. (1971) raportoivat useiden kuukausien mittaisista parenkyymisolujen elinajoista myös puun kaadon jälkeen. Suomen oloissa parenkyymisolut voinevat säilyä mantopuussa elävinä koko talven yli aina pitkälle kevääseen saakka. Sen sijaan lämpimänä kasvukauden aikana parenkyymisolujen kuoleminen on nopeampaa. Tällöinkin voitanee kuitenkin puhua usean kuukauden elinajoista, mikäli puutavara ei pääse kuivumaan. Nämä elinikää koskevat havainnot eivät kuitenkaan välttämättä tai edes todennäköisesti osoita, että parenkyymisolut pystyisivät tuottamaan lisää pihka-aineita puutavaraan.

Tässä yhteydessä on tärkeää pihka-aineiden aineenvaihdunnallinen luonne. Yleensä on oletettu, että pihka-aineissa on kysymys eräänlaisista lopputuotteista, jotka eivät enää mobilisoidu (esim. Sandermann 1960, s. 70). Uudemmat havainnot kuitenkin viittaavat siihen, että mobilisaatiota mahdollisesti voi tapahtua (Mutton 1962, s. 356). Jos viimeksi mainittu otaksuma on oikea, on vain vähäisiä mahdollisuuksia lisätä puuaineen pihkapitoisuutta varastoinnin aikana. Havainto nimittäin merkitsee sitä, että pihkapitoisuus pyrkii pikemminkin varastoinnin aikana luontaista tietä laskemaan kuin lisääntymään.

Jossakin määrin puutavaran varastoinnista saadut kokemukset tukevat näkemystä, ettei ole juuri mahdollisuuksia lisätä valmiin puutavaran pihkapitoisuutta. Croonin (1965) mukaan vuosien kuluessa on esitetty kolme teoriaa selitykseksi varastoinnin aikana tapahtuvalle pihka-aineiden vähenemiselle. Ensinnäkin voidaan olettaa, että pihka-aineet muuttuvat entsymaattisesti vesiliukoisiksi aineiksi. Toisaalta voidaan olettaa, että elävät parenkyymisolut kuluttavat pihka-aineita respiraation kautta, ja kolmanneksi, että erilaiset mikro-organismit käyttävät pihka-aineita ravintonaan. Feist ym. (1973) ovat myös sitä mieltä, että ainakin elävien solujen respiraatio,

bakteerien kasvu ja suora kemiallinen hapettuminen vaikuttavat pihka-aineiden vähemiseen. Tunnetusti nämä ilmiöt ovat voimakkaimpia hakekasavarastoinnissa, mutta niitä tapahtuu myös varastoitaessa puutavaraa muulla tavoin. Kahilan (1964) ja Assarssonin (1969) mukaan pienimmät mäntyöljysaantotappiot saadaan silloin, kun puuta säilytetään vedessä mieluimmin kuorimattomana. Kun erilaisissa kemiallisissa yms. käsittelyissä joudutaan lisäämään respiraation edellytyksiä, vaikuttaa mahdolliselta, ettei pihkapitoisuutta voida lisätä valmiissa puutavarassa ainakaan olennaisesti.

Edellä esitettyä näkemystä tukevat myös eräät muut havainnot. Bergmanin (1964) kirjallisuuskatsauksen mukaan mäntyöljysaanto on saattanut eräissä amerikkalaisissa tutkimuksissa laskea kuukauden hakekasavarastoinnin aikana noin 50 % ja sen jälkeen hitaammin. Myös käytännön mittakaavassa aleneminen on havaittu (Chalk 1968). Samanlaisia tuloksia on saatu myös pohjoismaista (esim. Isotalo ja Virkola 1964, Nordin ja Selleby 1965, Assarsson ym. 1970). Kun myös pyöreän puutavaran varastoinnissa mäntyöljysaanto alenee, joskaan ei niin voimakkaasti kuin hakekasavarastoinnissa, etenkään kylmänä vuodenaikana, mahdollisuudet kannattavaan pihkapitoisuuden lisäämiseen vaikuttavat vähäisiltä. Kun esimerkiksi Nordinin ja Sellebyn (1965) kokeessa mäntyöljysaanto aleni viiden kuukauden aikana 54 kg:sta arvoon 45 kg massatonnia kohti pölkkyvarastoinnissa, on selvää, ettei voida tyytyä vähäiseen pihkapitoisuuden kasvuun erilaisia menetelmiä käytettäessä. Jotta nämä lisäämismenetelmät olisivat kannattavia, saatavan hyödyn tulisi olla oikeassa suhteessa tämän käsittelyn aikana kuluvaan aikaan.

Mainitussa Nordinin ja Sellebyn tutkimuksessa todettiin, että lämpötilan ollessa korkea myös pölkkyvarastoinnissa mäntyöljysaanto alenee huomattavasti. Tätä käsityskantaa tukevat myös Levitinin (1967) kirjallisuuskatsauksessa esitetyt tiedot. Kun pihkapitoisuuden lisäämiselle valmiissa puutavarassa riittävän korkea lämpötila on välttämättömän edellytys parenkyymisolujen toiminnan kannalta, kovin suuria toiveita ei kannata pitää erilaisten käsittelyjen pihkapitoisuutta lisäävästä vaikutuksesta. Ainoana vastakkaisena havaintona on Clementsin (1970) tutkimus, jonka mukaan rikkihappo lisää pihkaneritystä verraten alhaisissakin lämpötiloissa.

Vaikka saantoa ei voinekaan lisätä kaatotuoreeseen raaka-aineeseen verrattuna, huomiota voidaan myös käytännön tehdasoloissa kiinnittää mäntyöljysaannon alenemisen estämiseen. Keinoja ovat mm. hakekasavarastointiajan lyhentäminen, pölkkyraaka-aineen varastointi vedessä tai maalla kastellen sekä eräiden kemikaalien käyttö hakekasavarastoinnissa (esim. Springer ym. 1975). Lisäksi voi pyrkiä hyödyntämään sen aiemmin mainitun seikan, että männyn mantopuun uuteainepitoisuus on talvella kaksinkertainen kesään verrattuna (Arrhenius 1942).

5. JALOSTUSMAHDOLLISUUDET

Vaikka tutkimuksia geneettisten keinojen tehosta on vähän, eräät amerikkalaiset havainnot antavat aihetta optimismiin. Pihkomisessa on tuotosta voitu nostaa yksinkertaisella valinnalla (Mergen 1954). Tuotoksen on raportoitu lisääntyvän esim. 50...100 % (Goddard ja Peters 1965, Squillace ja Harrington 1968, Clements 1971 b, Gancel 1972). On myös raportoitu olevan mahdollisuuksia lisätä mäntyöljysaantoa vastaavin menettelytavoin (Franklin ym. 1970). Varsinaiset genetiikan asiantuntijat ovat suhtautuneet mahdollisuuksiin varovammin, joskaan hekään eivät kiellä yksinkertaisenkin valinnan mahdollisuuksia (Wettstein 1957, Harris 1970, Zobel 1971). Jonkinlaiseen optimismiin viittaa myös Kalelan (1946) tutkimus, jolloin männystä saatiin parhaassa tapauksessa kesän aikana lähes 10 kg pihkaa, mikä on liki kymmenkertainen määrä tavalliseen verrattuna. Myös Neuvostoliitossa on kiinnitetty huomiota poikkeuksellisen tuottoisiin puuyksilöihin ja tarpeeseen ottaa männyn pihkapitoisuus huomioon jalostuksessa (Orlov 1956, Prokazin 1961).

Joskin sydänpuun periytyvyyteen ja ennen kaikkea tämän ilmiön merkitykseen kannattaa suhtautua varovasti luotettavien jälkeläiskokeiden ollessa riittämättömiä (Schreiner 1958, Nicholls 1965), on syytä ottaa huomioon myös tämä näkökohta pihkapitoisuuden lisäämismahdollisuuksia arvosteltaessa. Vaikuttamalla sekä sydänpuupitoisuuteen että siitä riippumattomaan pihkapitoisuuteen voidaan männyn pihkapitoisuutta kohottaa. Sulfaattiselluloosateollisuuden lisäksi tähän mahdollisuuteen tuntevat kiinnostusta myös metsäpatologit.

6. OMIEN TUTKIMUSTEN AINEISTO JA SEN KÄSITTELY

6.1. Aineisto

Jotta saataisiin kotimaisia lisäkokemuksia mahdollisuudesta lisätä männyn puuaineen pihkapitoisuutta, vuonna 1976 perustettiin alustavia kokeita. Samassa yhteydessä selvitettiin myös mahdollisuutta lisätä tuoreiden männynkantojen pihkapitoisuutta. Kun lisäksi ilmeni kiinnostusta selvittää kuusen reaktiota, vuonna 1977 perustettiin tätä puulajia koskevia kokeita.

Tuoreiden männynkantojen reagointia käsittelyyn pidettiin siinä määrin epätodennäköisenä, että tyydyttiin hyvin alustavaan kokeeseen. — Talvella 1976 kohdistettiin avohakkuu lähes satavuotiseen mäntymetsikköön Punkaharjulla. Toukokuun puolivälissä 1976 käsiteltiin 29 kantoa, jotka sijaitsevat reunaosassa lähellä hakkaamatonta metsää. Käsittelytapoja oli kolme. Eräisiin kantoihin tehtiin kirveellä kuhunkin neljä haavaa lyömällä voimakkaasti kuoren läpi. Haavoja ei käsitelty millään tavalla. Toisessa käsittelyssä haavat tehtiin samoin, mutta jokaiseen haavaan kaadettiin 3 ml 0,1-prosenttista parakvaattiliuosta. Kolmannessa käsittelytavassa kantoihin porattiin neljä reikää 12 mm:n poralla sydänpuuhun saakka, jonka jälkeen nämä reiät täytettiin em. parakvaattiliuoksella.

Koe lopetettiin kahden kasvukauden jälkeen syksyllä 1977. Tällöin leikattiin jokaisesta kannosta n. 10 cm paksu kiekko moottorisahalla. Kiekon mannosta erotettiin käsitellyt kohdat ympäristöineen omaksi ryhmäkseen ja käsittelykohtien väliset paikat omaksi ryhmäkseen. Kun kannot olivat suuria, käsiteltyjen palojen dimensio oli tangetin suunnassa n. 10 cm.

Laboratoriossa otettiin jokaisesta palasta purunäyte. Näytteet yhdistettiin edustamaan kunkin kannon käsittelemätöntä ja käsiteltyä kohtaa. Puruista selvitettiin pihkapitoisuus myöhemmin kuvattavalla tavalla.

Varsinaisessa eläviä mäntyrunkoja koskevassa tutkimuksessa keskityttiin sellaisiin vallittuihin mäntyrunkoihin, jotka varmasti poistettaisiin seuraavassa harvennushakkuussa. Kirjallisuuden perusteella nimittäin pääteltiin, ettei Suomen oloissa voi tulla kyseeseen tukkipuukokoisten runkojen käsittely ja niiden hyödyntäminen selluloosateollisuudessa. Sitä vastoin ajateltiin, että käsittely oli mahdollista kohdistaa myös käytännössä suhteellisen lyhyen ajan kuluttua käsittelystä hakkuussa poistettaviin pienikokoisiin puihin.

Käsittelytapoja pohdittaessa lähtökohtana pidettiin sitä, ettei puiden terveydentila saanut heiketä olennaisesti, koska haluttiin välttää erityisesti kuolevien puiden hyönteistuhoja. Myös muutoin katsottiin kuolevien puiden ympäristöhaitat niin suuriksi, että käsittelyissä pyrittiin säilyttämään puiden elinvoima mahdollisimman hyvin. Tämän vuoksi parakvaattiliuoksen väkevyydeksi valittiin ainoastaan yksi taso, 0,1 %, jonka arvioitiin kirjallisuudesta saatujen tietojen perusteella takaavan puiden hengissäpysymisen.

Koealoja perustettiin kaikkiaan 11 maan eri osiin. Kullakin koealalla leimattiin 60 puuta, joihin kohdistettiin 14 erilaista käsittelyä. Koealatiedot on esitetty taulukossa 1 ja käsittelytiedot taulukossa 2.

Kuten aiemmin mainittiin, käytetyn parakvaattiliuoksen konsentraatio oli 0,1 %. Käsittelyt valittiin siten, että vaihtelevina tekijöinä pidettiin haavojen laatua (kirves tai pora), haavojen lukumäärää runkoa kohti, niiden sijaintia sekä kuhunkin haavaan käytetyn parakvaattiliuoksen määrää. Lisäksi pyrittiin selvittämään pelkän haavan vaikutus erotukseksi haavan ja käytetyn kemikaalin yhteisestä vaikutuksesta.

Jossakin määrin käsittelyt riippuivat rungon ominaisuuksista. Poranreikiä käytettäessä ne kaadettiin täyteen parakvaattiliuosta. Kun reiät ulottuivat ytimeen saakka, suuriin puihin tuli enemmän liuosta kuin pieniin. Tätä ei kuitenkaan pidetty haittana, koska arvioitiin suurempien puiden kestävän runsaampia kemikaalimääriä kuin pienten puiden. Lähes kaikissa tapauksissa puut olivat kuitenkin vallitseviin puihin verrattuina heikkokuntoisia, kuten voidaan päätellä taulukossa 1 esitetyistä latvusten pituuksista suhteessa puun koko pituuteen sekä heikosta poikkipinta-alan kasvusta. Tämä tunnus mitattiin viimeisenä koevuonna kaadetuista puista. Se tarkoittaa kuuden käsittelyä edeltäneen vuoden keskimääräistä vuotuista poikkipinta-alan kasvua kaksimetrisessä tyvipölkyssä.

Kolmen vuoden aikana kaadettiin syksyisin 20 puuta. Kun käsittelyjä oli 14, eräistä käsittelyvaihtoehdoista saatiin useita runkoja aineistoksi. Runsaimmat toistot otettiin käsittelemättömistä puista, jotta voitaisiin selvittää kullakin koealalla keskimääräinen pihkapitoisuus.

Minään vuonna aineistoa ei saatu täydellisenä. Eräillä koealoilla myrskyt olivat kaataneet koepuita, ja toisia menetettiin ajourien teon vuoksi tai jopa tuntemattomista syistä. Lisäksi aineistoa menetettiin sen vuoksi, että verrattaessa käsittelemättömiä ja käsiteltyjä haavoja käsittelemättömien haavojen puolelle tehdyt merkkinaulat katosivat eräissä tapauksissa ilkivallan tai muun syyn johdosta. — Keskimäärin kadotettiin kultakin koealalta vuosittain yksi tai kaksi koepuuta.

Tehtyjen havaintojen perusteella näyte keskitettiin kahden metrin pituiseen tyvipölkkyyn. Tavallisessa tapauksessa otettiin 25 cm välein 4...5 cm vahvoja kiekkoja. Niistä mäntyrungoista, joissa käsittely tehtiin 25 cm välein, kiekot kerättiin kuitenkin myös käsittelykohtien puolivälistä.

Jokaiseen kiekkoon tehtiin merkintä pohjoissuunnasta, jotta ne saataisiin laboratoriokäsittelyssä oikeaan asentoon toisiinsa nähden. Lisäksi mitattiin rinnankorkeusläpimitta, puun ja latvuksen pituus sekä havainnoitiin puun elinvoima.

Taulukko 1. Mäntykoealat koepuutietoineen
Table 1. Pine sample plots with sample tree data

No	Sijainti *Location*	$d_{1,3}$ mm	Pituus *Height* dm	Latvus *Crown* dm	Poikkipinta-alan käsittelyä edeltänyt kasvu *Area increment before treatment* mm²/a
1	Bromarv	125	124	57	318
2	Ruotsinpyhtää	142	147	49	222
3	Lammi	117	132	51	486
4	Tuusula	119	119	62	221
5	Loppi	123	111	64	595
6	Parkano	130	142	40	147
7	Kannus	115	118	50	138
8	Suonenjoki	130	131	64	277
9	Punkaharju	118	127	54	408
10	Vilppula	123	139	55	321
11	Muhos	128	105	40	225

Taulukko 2. Mäntykoealojen käsittelyt. Parakvaattiliuoksen väkevyys oli 0,1 %.
Table 2. Treatments of pine sample plots. Concentration of paraquat solution was 0,1 %.

Käsittely *Treatment*	Haavoittamisväline *Wounding method*	Haavat maasta, cm *Wounds from the ground, cm*	Parakvaattirihaavoja, kpl *Wounds with paraquat*	Parakvaattiliuosta haavaa kohti, ml *Paraquat solution per wound, ml*	Tyhjiä haavoja, kpl *Empty wounds*
0	—	—	—	—	—
1	Kirves — *Axe*	0,100	8	3	—
2	»	0,100	8	6	—
3	»	0,100	8	9	—
4	»	0, 25, 50,75,100,125,150	7	3	—
5	»	0, 25, 50,75,100,125,150	7	6	—
6	»	25, 75,125	12	6	—
7	»	25, 75,125	12	9	—
8	Pora — *Bore*	0, 50,100	3	Täyteen — *Full*	—
9	»	50,100	4	»	—
10	»	50,100	8	»	—
11	Kirves — *Axe*	25,125	2	3	2
12	»	25,125	2	6	2
13	»	25,125	2	9	2
14	Pora — *Bore*	50,100	2	Täyteen — *Full*	2

Laboratoriokäsittelyt vaihtelivat yksityiskohdiltaan vuodesta toiseen. Ensimmäisen kasvukauden jälkeen pyrittiin selvittämään rungon pituuden suuntaista vaihtelua analysoimalla näytteitä kiekko kiekolta. Kun tässä yhteydessä huomattiin, että pääasiallinen reaktio tapahtui tyvipölkyn alueella, myöhempinä vuosina luovuttiin kiekoittaisesta käsittelystä ja siirryttiin tarkastelemaan samasta puusta leikattujen kiekkojen keskimääräisiä tuloksia.

Kahtena ensimmäisenä vuonna uutettava näyte kerättiin poraamalla jokainen kiekko tasaisesti reikiä täyteen sekä keräämällä puru talteen. Purut yhdistettiin rungoittain kuvaamaan keskimääräistä tasoa ottamalla eri kiekkojen purua niiden pinta-alojen suhteessa. Huolellisen sekoittamisen jälkeen saatiin homogeeninen, yhden rungon tyvipölkyn keskimääräistä pihkapitoisuutta edustava näyte. Tästä tehtiin varsinainen pihkapitoisuuden määritys.

Kolmannen kasvukauden jälkeen kerätty aineisto voitiin käsitellä työtä säästävämmällä tavalla, koska tällöin oli käytettävissä hakkuri. Samanpaksuiset kuoritut kiekot haketettiin, ja hakkeesta otettiin huolellisen sekoittamisen jälkeen pienempi näyte, joka jauhettiin uuttamiskelpoiseen hienousasteeseen vasaramyllyllä.

Verrattaessa kemikaalilla käsiteltyjen ja käsittelemättömien haavojen eroa meneteltiin hieman toisella tavalla. Tyvipölkyn kiekot halkaistiin kahteen osaan, joista toinen osa edusti kiekkojen kemikaalilla käsiteltyä puolta ja toinen osa vastaavasti kiekkojen pelkästään haavoitettuja puolikkaita.

Aineiston keräystavasta johtuu, että kaikissa tapauksissa pihkapitoisuudella tarkoitetaan 2 m pitkän tyvipölkyn keskimääräistä pihkapitoisuutta. Kyseessä ei ole siis pelkästään reagoineen puuaineen pihkapitoisuus, toisin kuin monessa muussa tutkimuksessa, vaan reagoineiden ja muuttumattomien puuaineen osien keskimääräinen arvo. Menettelytavan valintaa perusteltiin sillä, että näin saatiin otetuksi kätevästi huomioon samanaikaisesti sekä pihkapitoisuuden lisäyksen voimakkuus että reagoivan puuaineen osuus koko puuaineesta. Ratkaisuun vaikutti myös se, että on havaittu osan — joskin ilmeisesti vain vähäisen osan — reagoineella alueella olevasta pihkasta olevan peräisin saman puun muista osista (esim. Roberts 1975, Squillace 1975). Näin ollen pelkästään reagoineen ja reagoimattoman puuaineen pihkapitoisuuden vertailu saattaa johtaa vaikutuksen yliarviointiin, koska pihkapitoisuus on kulkeutumisen vuoksi tavanomaista alhaisempi reagoimattomassa puuaineessa. — Tätäkin menetelmää tosin jouduttiin käyttämään eräissä tapauksissa paremman puutteessa.

Kuten aiemmin mainittiin, mäntyä vähäisempi aineisto kerättiin kuusesta. Keväällä 1977 perustettiin 8 koealaa maan eri osiin, joilla kullakin leimattiin 40 seuraavassa harvennushakkuussa poistettavaa puuta. Kahden kasvukauden jälkeen poistettiin 20 puuta, joista otettiin näytteet aiemmin kuvatulla tavalla.

Kuusirunkoihin kohdistettu käsittely koealojen perustamisvaiheessa poikkesi mäntyyn sovelletusta. Haavoja tehtiin ainoastaan kannon korkeudelle ja 100 cm maasta. Kaikki haavat tehtiin taskutuskirveellä. Kokeiltuja parakvaattikonsentraatioita oli kolme, nimittäin 0,1 %, 1 % ja 2 %. Liuosta käytettiin haavaa kohti joko 3, 6 tai 9 mg. Liuoksen ja haavan yhteistä vaikutusta erotukseksi pelkän haavan vaikutuksesta tutkittiin samalla tavalla kuin männyssä. Käsittelyvaihtoehtoja oli kaikkiaan 19. Täysin käsittelemättömiä kontrollipuita oli 20 puun ryhmässä kaksi.

Koealojen puiden kuvaus on esitetty taulukossa 3 ja käsittelyt taulukossa 4.

Kuusikoealoilta kahden kasvukauden jälkeen kerätty aineisto käsiteltiin samalla tavalla kuin mäntyaineisto viimeisen kasvukauden jälkeen.

Taulukko 3. Kuusikoealat koepuutietoineen.

Table 3. Spruce sample plots with sample tree data.

No	Sijainti — *Location*	$d_{1,3}$ mm	Pituus *Height* dm	Latvus *Crown* dm
12	Bromarv	100	107	62
13	Tuusula	98	91	57
14	Hausjärvi	92	103	71
15	Punkaharju	96	97	63
16	Suonenjoki	98	87	52
17	Juuka	93	88	52
18	Ristijärvi	95	68	34
19	Muhos	112	88	64

Taulukko 4. Kuusikoealojen käsittelyt. Kaikki haavat tehtiin kirveellä ja käsittelykorkeudet olivat 0 ja 100 cm maasta.

Table 4. Treatments of spruce sample plots. All the wounds were made by axe and they were situated 0 and 100 cm from the ground.

Käsittely [1]) *Treatment* [1])	Parakvaattihaavoja, kpl *Wounds with paraquat*	Parakvaattiliuosta haavaa kohti, ml *Paraquat solution per wound, ml*	Parakvaatin väkevyys, % *Concentration of solution, %*	Tyhjiä haavoja, kpl *Empty wounds*
0—s	—	—	—	—
1—s	4	3	0,1	—
2—s	4	6	0,1	—
3—s	4	9	0,1	—
4—s	4	3	1,0	—
5—s	4	6	1,0	—
6—s	4	9	1,0	—
7—s	4	3	2,0	—
8—s	4	6	2,0	—
9—s	4	9	2,0	—
11—s	2	3	0,1	2
12—s	2	6	0,1	2
13—s	2	9	0,1	2
14—s	2	3	1,0	2
15—s	2	6	1,0	2
16—s	2	9	1,0	2
17—s	2	3	2,0	2
18—s	2	6	2,0	2
19—s	2	9	2,0	2

1) Kirjain s osoittaa kyseessä olevan kuusen, jonka käsittelyt poikkeavat vastaavannumeroisista männyn käsittelyistä.

The letter s shows that these treatments concern spruce and deviate from the treatments of pine with the corresponding number.

6.2. Pihkapitoisuuden määritys

Tutkimuksessa mitattiin pihkapitoisuutta asetoniin liukenevan uuteaineen määrällä. Samaa tunnusta käytti myös Hakkila (1968 b), joten käsittelemättömän mäntypuun pihkapitoisuudesta saatavia tuloksia voidaan periaatteessa verrata mainitussa tutkimuksessa saatuihin arvoihin. Kun näytteenotto- ja uuttamismenettely oli erilainen, täyttä vertailtavuutta ei kuitenkaan ole.

Ennen runsaasti aikaa vievän pihkapitoisuuden määrityksen aloitusta tehtiin joukko kokeita, joilla pyrittiin selvittämään mahdollisuudet nopeuttaa näytteiden uuttamista Soxhlet-laitteessa. Tavallisesti on Keskuslaboratoriossa ja myös Metsäntutkimuslaitoksella käytetty kuuden tunnin uuttamisaikaa (esim. Hakkila 1968 b, s. 15). Browning (1967, s. 80) puolestaan on esittänyt 4...8 h ajan. Tässä tapauksessa päädyttiin kolmen tunnin uuttamisaikaan siten, että Soxhlet-laite tyhjeni tällöin vähintään 24 kertaa. Näin menetellen saatiin uuteainepitoisuus käytännöllisesti katsoen samaksi kuin kuuden tunnin uuttamisessa. Esimerkiksi erästä runsaasti pihkaa sisältävää näyte-erää uutettaessa 6 h uutossa pihkapitoisuudeksi saatiin 10,4 % ja 3 h uutossa 10,0. Kuuden näytteen standardipoikkeama oli edellisessä tapauksessa 0,6 prosenttiyksikköä ja jälkimmäisessä 0,5 prosenttiyksikköä.

Kun pihkapitoisuusnäytteen uuttaminen kesti kolme tuntia, työpäivän aikana ehdittiin tehdä kaksi erää aiemman yhden sijasta.

Myös erilaisia menettelytapoja pihkapitoisuuden laskemiseksi kokeiltiin ennen laajamittaisen työn aloittamista. Periaatteessa uuteaineen määrä voidaan nimittäin määrittää Soxhlet-laitteessa puunäytteen massan alenemana uuteaineiden liuetessa asetoniin tai uutoskolvin massan lisääntymisenä sinne kertyvien uuteaineiden vuoksi. Lisäksi voidaan kehitellä erilaisia variaatioita sen mukaan, kuinka näytteessä oleva vesi otetaan huomioon.

Jäljempänä käytetään seuraavia merkintöjä

A = kosteusnäytteessä käytetyn punnituslasin ja noin ilmakuivan kosteusnäytteen yhteinen massa
B = em. punnituslasin ja absoluuttisen kuivan kosteusnäytteen yhteinen massa
C = absoluuttisen kuivan, selluloosasta valmistetun uuttamishylsyn massa
D = uutettavan näytteen ilmakuiva massa (kosteus sama kuin kosteusnäytteessä)
E = kuivan uuttamiskolvin massa kiehumakivineen
F = kuivan uuttamiskolvin, kiehumakivien ja kolviin kertyneiden uuteaineiden massa
G = uuttamishylsyn ja uutetun näytteen yhteinen massa absoluuttisen kuivana
H = punnituslasin massa

Edellä olevia merkintöjä käyttäen voidaan todeta, että

A—B = kosteusnäytteessä olevan veden massa
G—C = uutetun näytteen kuiva massa
F—E = uutteen määrä, joka on kertynyt kolviin
$\frac{B-H}{A-H}$ = kerroin, jota käyttäen uutettavan näytteen ilmakuiva massa D saadaan muunnetuksi absoluuttisen kuivan näytteen massaksi edellyttäen, että kosteusnäytteessä ja uutettavassa näytteessä kosteus on sama.

Pihkapitoisuus voidaan laskea mm. kaavojen (1)...(3) avulla, kun pihkapitoisuus p on prosentteina uuttamattoman näytteen kuivasta massasta.

$$(1) \qquad p = \frac{100\ (F—E)}{G—C+F—E} = \frac{\text{kolviin kertynyt uute} \cdot 100}{\text{uutettu näyte} + \text{uute}}$$

$$(2) \qquad p = \frac{100\ (\frac{D\ (B—H)}{A—H} —G—C)}{\frac{D\ (B—H)}{A—H}} = \frac{(\text{uuttamaton näyte}^{1)} — \text{uutettu näyte}) \cdot 100}{\text{uuttamaton näyte}^{1)}}$$

$$(3) \qquad p = \frac{100\ (F—E)}{\frac{D\ (B—H)}{A—H}} = \frac{\text{kolviin kertynyt uute} \cdot 100}{\text{uuttamaton näyte}^{1)}}$$

1) = laskettu absoluuttisen kuivaksi kosteusnäytteen perusteella

Mainittakoon, että käytännössä kannattaa kosteusnäytteen ilmakuiva massa A-H sekä uutettavan näytteen ilmakuiva massa D valita samansuuruisiksi, jolloin kaava (3) voidaan kirjoittaa p = 100 (F—E)/B—H. — Käsillä olevassa työssä ilmakuivaksi massaksi otettiin 3 g.

Edellä esitettyjen kaavojen kokeilemiseksi tehtiin kaikkiaan 96 uuteainepitoisuusmääritystä siten, että samasta puunäytteestä tehtiin kaksi määritystä. Eri kaavojen vertailemiseksi jokaisesta näytteestä laskettiin pihkapitoisuus em. kaavoilla (1)...(3). Kun jokaisesta puunäytteestä oli tehty kaksi uuteainemääritystä, voitiin laskea keskimääräinen poikkeama pihkapitoisuusmäärityksessä kaavalla (4).

$$(4) \qquad \text{Keskimääräinen poikkeama} = \frac{\sum_{i=1}^{48} [P_{i1} — P_{i2}]}{48}$$

jossa P_{i1} = pihkapitoisuus ensimmäisessä määrityksessä erässä i
P_{i2} = pihkapitoisuus toisessa määrityksessä erässä i

Kaava (4) sovellettiin kaavoilla (1)...(3) laskettuihin pihkapitoisuuksiin.

Suurin keskimääräinen poikkeama saatiin käytettäessä kaavaa (2). Samaa uutettavaa puuerää koskevat pihkapitoisuudet poikkesivat toisistaan keskimäärin 2,46 prosenttiyksikköä. Kun tämä poikkeama on likimain puolet keskimääräisestä pihkapitoisuudesta, näin suurta eroa ei voida missään tapauksessa sallia.

Huomattavasti parempia tuloksia saatiin kaavalla (1). Tällöin keskimäärin poikkeama oli 0,196 prosenttiyksikköä. Vielä johdonmukaisemmin käyttäytyväksi saatiin kaava (3), jota käytettäessä keskimääräinen poikkeama oli 0,115.

Ilmeistä on, että kaavan (2) heikkous johtuu asetonin reagoinnista puun kanssa (Anderson 1946, Browning 1967, s. 81). Tämä mahdollisuus oli toki etukäteen tiedossa, mutta uutettavan näytteen massan alenemista kannatti kuitenkin kokeilla: jos rinnakkaisnäytteet olisivat antaneet systemaattisesti virheellisiä tuloksia pihkapitoisuudesta (esimerkiksi systemaattisesti liian pieniä arvoja), eri käsittelyjen vaikutusta olisi silti voitu analysoida. Kun asetoni tässä tapauksessa reagoi hyvin vaihtelevalla tavalla puun kanssa, tätä mahdollisuutta ei siis ollut.

Asetonin haitalliseen reagointiin puun kanssa viittaa myös se, että kaavalla (1) saatiin huonompia tuloksia kuin kaavalla (3). Kaavassa (1) nimittäjä on uutetun näytteen ja kolviin kertyneen uutteen kuiva massa, kaavassa (3) taas uuttamattoman näytteen massa, joka on laskettu absoluuttisen kuivaksi erillisen kosteusnäytteen avulla.

Edellä esitetyn perusteella ryhdyttiin käyttämään kaavaa (3). Muut käytetyt laboratorio-ohjeet olivat lyhennettynä seuraavat, joihin päädyttiin erinäisten kokeilujen ja standardeihin tutustumisen jälkeen (esim. Massan diklormetaaniuute...1962). — Nämä ohjeet on katsottu aiheelliseksi esittää vastaavien ohjeiden puuttuessa metsätieteellisestä kirjallisuudesta.

1. Käsiteltävät rungosta leikatut kiekot kuoritaan huolellisesti, jotta jäljempänä kuvattaviin puruihin ei tulisi mukaan kuorta, joka sisältää runsaasti uuteaineita (F r e m e r 1967, s. 11). Kiekoista tehdään purunäyte poraamalla tai hakettamalla.
2. Purut saavat kuivua ilmakuiviksi. Myöhemmin otettava kosteusnäyte koskee tätä ilmakuivaa purua.
3. Kun purut eivät ole sellaisenaan sopivan hienoja, ne jauhetaan ennen kosteusnäytteen ottoa ja uuttamista sopivan hienoksi (mesh 40) Wileyn myllyllä.
4. Ennen näytteiden ottoa purut kaadetaan purkkiin ja sekoitetaan kannellisessa purkissa ravistelemalla tai muuten sekoittamalla ehdottoman homogeeniseksi massaksi. Tästä homogeenisesta massasta otetaan kaksi näytettä kosteuden määrittämiseksi sekä kaksi näytettä uuttamiseen. Sekä kosteusnäytteen että uuttamisnäytteen ilmakuiva massa on 3 g. — Nämä pienet näytteet edustavat homogenisoinnin vuoksi purunäytettä hyvin.
5. Kosteusnäyte (ilmakuiva massa 3 g) punnitaan kannettomassa punnituslasissa ilmakuivana sekä lämpökaapissa kuivattamisen (103°C 16 h) ja eksikaattorissa jäähdyttämisen (45 min) jälkeen. Kaikki punnitukset tehdään 1 mg tarkkuudella.
6. Uutettavan näytteen ilmakuiva massa (3 g) punnitaan ja kaadetaan selluloosahylsyyn. Hylsy pannaan Soxhlet-laitteeseen, jonka kolviin pannaan 45 ml asetonia. Kolvin sekä siihen lisättyjen kiehumakivien paino absoluuttisen kuivana on aiemmin määritetty lämpökaapissa kuivattamisen (103°C, 16 h) ja eksikaattorissa jäähdyttämisen (45 min) jälkeen milligramman tarkkuudella. Lämpötila säädetään siten, että 3 h kestävän uuttamisen aikana Soxhlet-laite tyhjenee vähintään 24 kertaa. Uuttaminen lopetetaan 3 h jälkeen siinä vaiheessa, kun Soxhlet-laitteen yläosassa on ennen tyhjentymistä runsaasti asetonia. Tämä asetoni otetaan talteen pesua varten.
7. Uuttamisen jälkeen Soxhlet-laitteesta otetaan pois hylsy puruineen. Kolvissa oleva asetoni tislataan pois jäähdytintä käyttäen. Asetonin haihduttua täydellisesti kolvi pannaan lämpökaappiin (103°C, 16 h) ja jäähdytetään eksikaattorissa (45 min). Tämän jälkeen kolvi punnitaan kiehumakivineen ja pihka-aineineen milligramman tarkkuudella.
8. Uuteainepitoisuus lasketaan prosentteina uuttamattoman näytteen absoluuttisen kuivasta massasta em. kaavaa (3) käyttäen.
9. Kun kolvi kiehumakivineen ja pihka-aineineen on punnittu, kiehumakivet poistetaan ja kolvi pestään puhtaaksi asetonilla ja tarvittaessa myös muita aineita käyttäen. Pesun jälkeen lisätään kiehumakivet ja kolvit kuivataan lämpökaapissa 103° lämpötilassa (16 h). Eksikaattorissa jäähdytyksen jälkeen (45 min) kolvit punnitaan kiehumakivineen ja jatketaan tarvittaessa kohdasta 4.

Huomautuksia:

a. Asetonin leimahduspiste on alle 0°C. Sen vuoksi on ehdottomasti huolehdittava, ettei lämpökaappiin laiteta asetonia sisältäviä kolveja kuivumaan. Asetoni on haihdutettava vetokaapissa tarkoin, tarvittaessa kuumaa vesihaudetta käyttäen. Tämä käy helposti päinsä, kun asetonin kiehumapiste on alle 60°C.

b. Pihka-aineet imevät vettä ilmasta hyvin tehokkaasti. Tämän vuoksi punnitukset on tehtävä siten, että pihka-aineita sisältävät kolvit ym. ensin jäähdytetään eksikaattorissa.

c. On välttämätöntä, että kosteusnäyte ja uutettava näyte koskevat samaa materiaalia. Ellei niitä voida ottaa samanaikaisesti, vaan kosteusnäyte otetaan myöhemmin, jauhettu puu on pidettävä höyrynpitävään muovipussiin suljetussa laatikossa kosteuden muuttumisen estämiseksi.

d. Suurin sallittu virhe on joko 0,3 prosenttiyksikköä tai 5 prosenttia suuremmasta pihkapitoisuudesta siten, että em. luvuista otetaan suurempi sallituksi virheeksi. Esim. jos pihkapitoisuudet ovat 2,3 ja 2,6 %, ero on sallittu 0,3 prosenttiyksikön säännön perusteella. Jos pihkapitoisuudet ovat 10,0 ja 10,5, ero on sallittu 5 prosentin säännön perusteella (5 prosenttia 10,5:stä on noin 0,5 pihkapitoisuusprosenttia). Jos ero on suurempi, tehdään uudet määritykset.

Mainittakoon, että useissa tapauksissa rinnakkaisnäyte jätettiin tekemättä kapasiteetin lisäämiseksi. Tällöin uusittiin ne näytteet, joiden tulos vaikutti epäilyttävän alhaiselta tai korkealta.

Mitä sitten merkitsee, että pihkapitoisuutena pidetään edellä kuvatulla menetelmällä määritettyä uuteainepitoisuutta?

Yleisesti käytettyyn eetteriuutteeseen (esim. M u t t o n 1962, s. 333) verrattuna asetoniuutteen määrä on suurempi. Terpeenit ja rasvat liukenevat kumpaankin aineeseen, mutta uuteaineiden kolmas pääryhmä, fenolit, liukenee vain asetoniin. Lisäksi asetoniuutteessa saattaa olla myös eräitä hiilihydraatteja (G r i p e n b e r g 1967). — Pihkapitoisuus on siis ymmärrettävä laajempana käsitteenä kuin mihin »pihka» terpeenien ja rasvojen muodostamana aineena sinänsä viittaa.

Periaatteessa eetteriuute olisi parempi kuin asetoniuute kuvattaessa uuteaineiden merkitystä mm. mäntyöljysaannon kannalta, koska fenolit yms. vain asetoniin liukenevat aineet eivät lisää varsinaista mäntyöljysaantoa. Nämä neutraalit yhdisteet näkyvät analyysissä saippuoitumattomien aineiden ryhmänä. Niiden merkitys on kuitenkin vähäinen kokonaisuuden kannalta myös herbisideillä käsitellyssä puussa (esim. R a n u a 1975, sen kuva 1), ja asetoniuutepitoisuutta voi näin ollen käyttää hyödynnettävissä olevan pihkapitoisuuden indikaattorina.

6.3. Kasvun alenemisen selvittäminen

Mäntyä koskevasta aineistosta pyrittiin selvittämään, vaikuttaako käsittely kasvuun. Samoin kuin pihkapitoisuuden tarkastelussa, myös tällöin keskityttiin kaksi metriä pitkään tyvipölkkyyn.

Kasvu mitattiin kiekoista, joista myöhemmin määritettiin pihkapitoisuus. Nämä kiekot oli otettu rungoista käsittelystä riippuen joko 250 tai 125 mm:n välein. Tyvipölkyn keskimääräisen kasvun selvittämiseksi pyrittiin selvittämään pinta-alalla painotettu kasvu.

Erilaisten häiritsevien tekijöiden eliminoimiseksi selvitettiin sekä käsittelyä edeltävän kuuden vuoden keskimääräinen pinta-alan kasvu että käsittelyä seuraavan kolmen vuoden keskimääräinen kasvu. Kasvun laskemiseksi jokaiseen kiekkoon piirrettiin tasaisin välein kahdeksan ytimestä pintaan kulkevaa sädettä. Näin ollen näiden säteiden välinen kulma oli 22,5°. Jokaiselta sädelinjalta mitattiin lustomikroskoopilla käsittelyä edeltäneiden kuuden vuosiluston keskimääräinen vahvuus sekä käsittelyä seurannut kolmen vuoden kasvu 0,01 mm tarkkuudella. Mikäli paikallisen tai yleisen kasvun puuttumisen takia käsittelyn jälkeistä kasvua ei ollut esim. juuri haavan kohdalla, lustojen vahvuus merkittiin nollaksi. — Vastaavalla tavalla selvitettiin keskimääräinen käsittelyä edeltäneiden ja käsittelyä seuranneiden vuosilustojen kesäpuuprosentti.

Edellisten mittausten lisäksi selvitettiin eri suuntiin käyvien säteiden pituus ytimestä pintaan. Näiden säteiden neliöidyistä arvoista laskettiin keskiarvo. Kertomalla tämä Π:llä saatiin kiekon pinta-ala, joka lähenee oikeaa myös epäpyöreän kiekon ollessa kyseessä (K ä r k k ä i n e n 1975, s. 215). — Vastaavalla tavalla saatiin laskemalla eri ajankohtien kiekkojen pinta-ala ja sitä kautta keskimääräinen pinta-alan kasvu.

Kun jokaisesta kiekosta mitattiin kahdeksasta kohdasta käsittelyä edeltänyt ja sitä seurannut kasvu, myös paikalliset kasvun vaihtelut saatiin otetuksi verraten tarkasti huomioon. Tavallisesti metsänarvioimistieteessä ei käytetä näin lukuisia mittauksia, mutta nyt se oli välttämätöntä erityisesti käsitellyissä puissa havaittujen paikallisten kasvun vaihteluiden vuoksi.

Kasvumittausten yhteydessä selvitettiin kiekoista myös tilavuus tuoreena sekä ilmakuiva massa, joka mitattiin juuri ennen haketusta. Näin menetellen puista mitattu kosteus oli likimain sama kuin kiekon kosteus. Täten voitiin mitattu ilmakuiva massa muuntaa absoluuttisen kuivaksi massaksi ja laskea tätä kautta kunkin kiekon kuivatuoretiheys. — Tavanomaiseen uunikuivaukseen ei voitu mennä, koska tällöin osa myöhemmin mitattavista pihka-aineista olisi haihtunut.

7. KANTOJEN KÄSITTELYSTÄ SAADUT TULOKSET

Kun vähäinen kantoaineisto kerättiin kahden kasvukauden jälkeen käsittelystä, saatiin seuraavan jaotelman mukaiset tulokset.

Käsittely	Kantoja	Käsitelty kohta kannossa		Käsittelemätön kohta kannossa	
		Pihkapitoisuus, %			
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
4 kirveshaavaa, ei kemikaalia	6	2,9	1,9	2,6	1,8
4 kirveshaavaa, 3 ml parakvaattiliuosta kuhunkin	15	3,7	1,8	2,8	1,5
4 poranreikää, täyteen parakvaattiliuosta	8	3,3	2,0	3,7	2,0

Kuten jaotelmasta ilmenee, kemikaalilla käsitellyissä kannoissa voitiin havaita pienehkö pihkoittumisreaktio. Myös pelkät haavat lisäsivät hieman pihkapitoisuutta, mutta tämä ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Lisäksi oli havaittavissa, että kirveshaava ja siihen pantu pienehkö parakvaattiliuosmäärä aiheuttivat paikallisen reaktion, mutta porattaessa kantoon reikä ja täytettäessä se parakvaattiliuoksella koko kanto reagoi.

Vaikka saadut tulokset ovat alustavia eikä niillä ole vahvaa todistusvoimaa, niiden mukaan voi tuoreiden, elävien männynkantojen pintapuu ainakin metsänreunan läheisyydessä reagoida käsittelyyn positiivisesti. Reaktio ei ilmeisesti ole kovin suuri, ja lienee käytännössä merkityksetön. — Mainittakoon, että pienehköissä toisissa suomalaisissa kokeissa on myöskin voitu todeta parakvaattiliuoksella käsittelyn lisäävän männynkannon pihkapitoisuutta vähäisessä määrin (P i t k ä n e n 1978).

8. MÄNNYN RUNKOPUUSTA SAADUT TULOKSET

8.1. Pihkoittumisen kulku

Pihkoittumisen kulkua tarkastellaan seuraavassa kaikkien koealojen aineistosta laskettujen keskimääräisten tunnusten avulla. Jossakin määrin oli tosin havaittavissa, että pihkoittumisnopeus oli vuosittain erilainen eri koealoilla, mutta varmoja tuloksia ei saatu suuresta hajonnasta johtuen. Tämän vuoksi koealojen eroja tarkastellaan ainoastaan kolmannen kasvukauden jälkeen kerätyn aineiston perusteella.

Taulukossa 5 on esitetty, millainen oli 2 m pitkän tyvipölkyn keskimääräinen pihkapitoisuus eri käsittelyissä haavoittamattomiin koepuihin verrattuna 1, 2 ja 3 kasvukauden jälkeen. Ensimmäisen kasvukauden jälkeen pihkapitoisuus oli lisääntynyt kaikki käsittelyt yhdistäen yli 50 %. Toisena kasvukautena pihkapitoisuus lisääntyi edelleen, mutta suhteellisesti hitaammin: kumuloitunut lisäys oli kaikki käsittelyt yhdistäen vain vähän yli 60 %. Kolmantena kasvukautena lisääntymisnopeus kasvoi olennaisesti: kumuloitunut kaikkien käsittelyjen keskimääräinen tulos oli 140 %.

Eri kesinä saadut tulokset olivat yleensä johdonmukaisia huolimatta siitä, että joka kerta poistettiin eri koepuut. Niinpä lähes kaikissa käsittelytavoissa pihkapitoisuus lisääntyi ajan kuluessa toisen kesän käsittelyjä 5, 7 ja 8 koskevien tulosten ollessa satunnaisena poikkeuksena.

Pihkan lisääntymisnopeutta voi pitää alhaisena muissa maissa saatuihin tuloksiin verrattuna.

Taulukko 5. Eri käsittelyjen vaikutus männyn pihkapitoisuuteen 1, 2 ja 3 kasvukauden jälkeen 2 m pituisessa tyvipölkyssä.

Table 5. The effect of treatments on the resin content of pine after 1, 2, and 3 growing seasons in 2 m long butt bolt.

Käsittely *Treatment*	Kasvukausi — *Growing seasons*			Pihkapitoisuus 3. kasvukauden jälkeen, % *Resin content after the third growing season*, %
	1	2	3	
	Suhteellinen pihkapitoisuus *Relative resin content*			
0	100	100	100	3,2
1	158	174	228	7,3
2	135	159	278	8,9
3	149	174	284	9,1
4	146	150	228	7,3
5	171	156	234	7,5
6	150	174	269	8,6
7	188	162	303	9,7
8	136	131	172	5,5
9	148	155	188	6,0
10	155	181	216	6,9

8.2. Eri tekijöiden vaikutus pihkoittumiseen

8.2.1. Haavan ja kemikaalin vaikutuksen erottaminen

Kuten aineistoa selostettaessa todettiin, jokaisella koealalla käsiteltiin neljä puuta haavan ja kemikaalin vaikutuksen erottamiseksi. Puun vastakkaisille puolille tehtiin kahdelle korkeudelle haavat, joista toiset käsiteltiin parakvaatilla ja toiset jätettiin ilman kemikaalia. Kolmannen kesän jälkeen mitattuja tuloksia koskee taulukko 6.

Taulukosta havaitaan, että myös pelkkä haava lisäsi selvästi männyn puuaineen pihkapitoisuutta kokonaan käsittelemättömiin koepuihin verrattuna. Tämä ei ole mitenkään yllättävää, kun otetaan huomioon haavasydänpuun ja traumaattisten pihkatiehyiden syntymekanismi. Toisaalta vaikutus oli suuri haavan ja kemikaalin yhteiseen vaikutukseen verrattuna: lähes puolet yhteisestä vaikutuksesta johtui pelkästään haavoista.

Käytetty käsittelymenetelmä mahdollisesti liioittelee pelkän haavan merkitystä. Eri korkeuksille tehdyt haavat sijoitettiin nimittäin 90° kulmaan toisiinsa nähden, jolloin osa parakvaatin rungon pituuden suuntaisesta vaikutuksesta saattaa heijastua myös käsittelemättömiin haavoihin. Toisaalta käsitystä erityisesti traumaattisten pihkatiehyiden merkityksestä tukee suhteellisen hidas pihkoittumisreaktio: jos kyseessä olisi pelkästään parakvaatin vaikutus, sen tulisi olla suhteellisen nopea parakvaatin hajoamisesta johtuen.

Taulukko 6. Haavan sekä haavan + kemikaalin vaikutus männyn pihkapitoisuuteen kolmen kasvukauden jälkeen. Pölkky jaettiin pituussuunnassa kahtia. Toisessa puoliskossa oli puhtaita haavoja ja toisessa haavoja ja kemikaalikäsittely.

Table 6. Effect of wound and that of wound + chemical on the resin content of pine after three growing seasons. The bolt was divided into two in length direction. In one half there were only pure wounds, and in the other wounds and chemical treatment.

Käsittely *Treatment*	Haava — *Wound*		Haava + kem. — *Wound + chem.*	
	Pihkapitoisuus — *Resin content*			
	%	Suht. — *Rel.*	%	Suht. — *Rel.*
11	4,9	100	5,9	120
12	5,0	100	7,8	156
13	4,3	100	6,8	158
14	4,7	100	5,9	126

Haavoittamattomien kontrollipuiden pihkapitoisuus: 3,2 %.
Resin content of unwounded control trees: 3,2%.

8.2.2. Koealojen väliset erot

Taulukossa 7 on esitetty, millaisia tuloksia saatiin männyn 2 m pitkän tyvipölkyn keskimääräisestä pihkapitoisuudesta eri käsittelyillä eri männiköissä. Puuttuvista tiedoista huolimatta voidaan havaita, että koealat poikkeavat selvästi toisistaan. Käsiteltyjen puiden lisäksi eroja oli myös käsittelemättömissä kontrollipuissa. Tämän vuoksi on aiheellista tarkastella myös suhteellisia tuloksia, jolloin käsittelyn vaikutusta on verrattu kontrollipuiden pihkapitoisuuteen. Nämä tulokset on esitetty taulukossa 8.

Taulukon 8 mukaan suhteellisten arvojen käyttö ei ole poistanut koealojen välisiä eroja, vaan ne ovat edelleen merkittävän suuria.

Lähin mieleen tuleva koealakohtainen muuttuja, maantieteellinen sijainti, ei osoittautunut kovin olennaiseksi tekijäksi. Sitä vastoin osoittautui, kuten taulukoista 7 ja 8 voidaan päätellä, että pihkapitoisuuden lisääntyminen käsittelyjen vaikutuksesta oli sitä alhaisempi, mitä korkeampi pihkapitoisuus käsittelemättömissä kontrollipuissa oli. Tällöin voidaan luonnollisesti olettaa, että kontrollipuiden pihkapitoisuus kuvaa likimäärin myös käsiteltyjen puiden pihkapitoisuutta ennen puiden haavoittamista ja kemikaalikäsittelyä.

Taulukko 7. Eri käsittelyjen vaikutus männyn 2 m pituisen tyvipölkyn pihkapitoisuuteen (%) eri metsiköissä kolmen kasvukauden jälkeen.

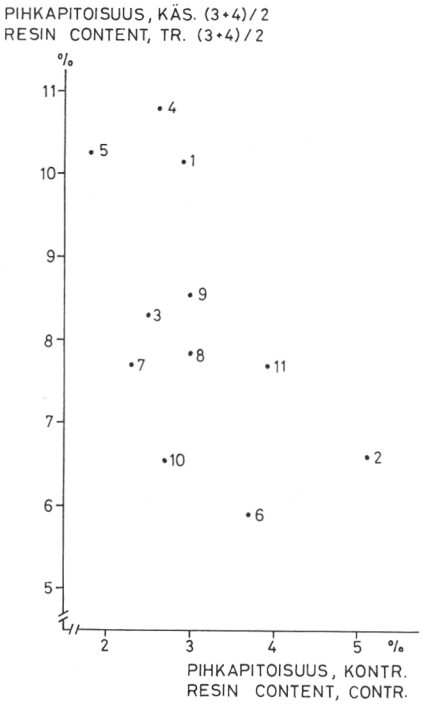
Table 7. The effect of treatments on the resin content of pine (%) 2 m long butt bolts in various stands after three growing seasons.

Metsikkö — *Stand*	Käsittely — *Treatment*										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Pihkapitoisuus, %—*Resin content, %*										
1	2,9	..	..	12,9	7,4	6,9	8,5	13,5	9,2	5,7	8,1
2	5,1	9,8	6,6	7,0	6,2	6,3	6,8	9,4	5,3	6,3	6,3
3	2,5	10,9	14,4	9,3	7,3	9,1	9,0	11,8	3,9	4,5	..
4	2,6	6,1	10,7	13,4	8,2	8,4	7,0	..	4,6	7,4	12,1
5	1,8	8,6	11,2	12,9	7,6	9,1	..	..	..	..	..
6	3,7	5,3	6,5	6,2	5,6	6,2	9,5	11,4	6,2	4,9	..
7	2,3	6,0	5,7	8,8	6,6	6,0	7,5	6,7	5,0	6,4	6,8
8	3,0	5,4	6,4	8,2	7,5	..	..	..	..	..	..
9	3,0	..	7,0	9,4	7,7	10,8	..	8,1	5,6	7,1	6,0
10	2,7	6,4	7,5	5,2	7,9	6,5	7,6	8,8	3,1	5,2	5,7
11	3,9	5,3	7,0	7,9	7,5	6,9	10,7	6,8	6,1	5,5	5,3
Yht. — *Total*	3,2	7,3	8,9	9,1	7,3	7,5	8,6	9,7	5,5	6,0	6,9

Taulukko 8. Eri käsittelyjen vaikutus männyn pihkapitoisuuteen (suhteelliset arvot) eri metsiköissä kolmen kasvukauden jälkeen.

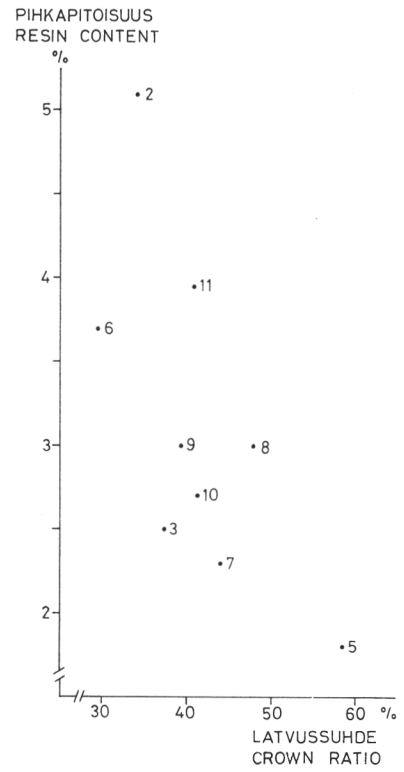
Table 8. The effect of treatments on the resin content of pine (relative values) in various stands after three growing seasons.

Metsikkö — *Stand*	Käsittely — *Treatment*										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Suhteellinen pihkapitoisuus — *Relative resin content*										
1	100	..	..	445	255	238	293	466	317	197	279
2	100	192	129	137	122	124	133	184	104	124	124
3	100	436	576	372	292	364	360	472	156	180	..
4	100	235	412	515	315	323	269	..	177	285	465
5	100	478	622	717	422	506	..	..	..	..	..
6	100	143	176	168	151	168	257	308	168	132	..
7	100	261	248	383	287	261	326	291	217	278	296
8	100	180	213	273	250	..	..	..	..	..	..
9	100	..	233	313	257	360	..	270	187	237	200
10	100	237	278	193	293	241	281	304	115	193	211
11	100	136	179	203	192	177	274	174	156	141	136
Yht. — *Total*	100	228	278	284	228	234	269	303	172	188	216



Kuva 1. Eri männikköjen (1 . . . 11) kontrollipuiden ja käsittelyjen 3 ja 4 pihkapitoisuuksien keskiarvo. Pisteisiin liittyvät luvut tarkoittavat metsikköjä.

Fig. 1. Resin content of control trees and averages of treatments 3 and 4 in various pine stands. The numbers refer to stands 1 . . . 11.

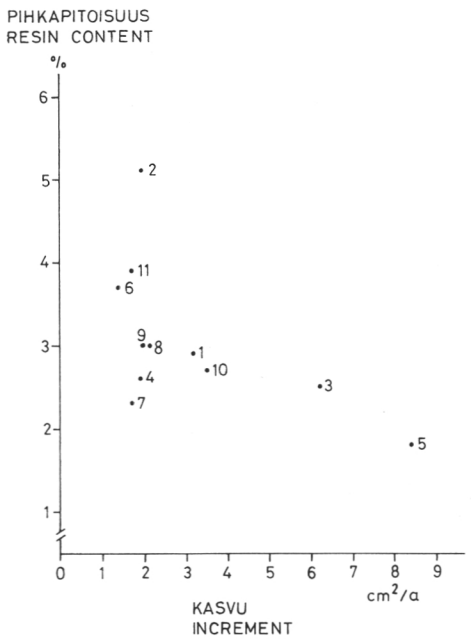


Kuva 2. Eri männikköjen (2, 3, 5 . . . 11) kontrollipuiden pihkapitoisuuden riippuvuus metsikön puiden keskimääräisestä latvussuhteesta. Pisteisiin liittyvät luvut tarkoittavat metsikköjä.

Fig. 2. Effect of the average crown ratio of the stand on the resin content of control trees in various pine stands. The numbers refer to stands.

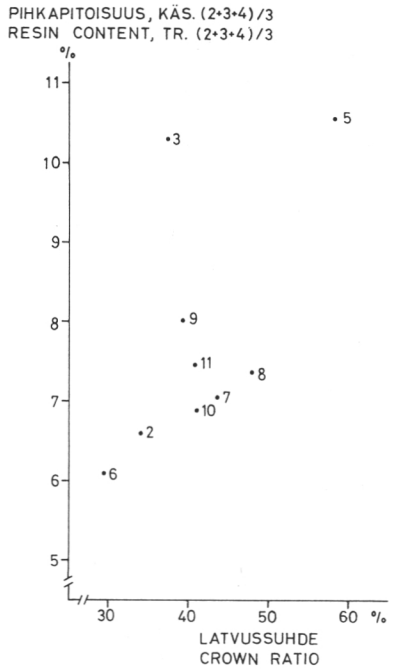
Vaikka kuvattu ilmiö voitiinkin havaita kutakuinkin kaikissa käsittelyissä, vertailua vaikeuttivat runsaat puuttuvat tiedot. Kun taulukon mukaan kaikilla koealoilla voitiin kuitenkin selvittää käsittelyjen 3 ja 4 vaikutus, sitä on pidetty jäljempänä eräänä indikaattorina.

Kuvassa 1 on esitetty, kuinka käsittelyjen 3 ja 4 keskimääräinen pihkapitoisuus riippui kontrollipuiden pihkapitoisuudesta. Kuvasta voidaan havaita selvä negatiivinen korrelaatio käsiteltyjen puiden pihkapitoisuuden ja alkuperäisen pihkapitoisuuden välillä. Vielä jyrkempi kuvaaja saadaan, mikäli käsiteltyjen puiden pihkapitoisuuden sijasta tarkastellaan pihkapitoisuuden prosentuaalista lisääntymistä. Näin ollen voidaan sanoa, että sekä absoluuttinen että suhteellinen pihkapitoisuuden nousu on sitä suurempi, mitä alhaisempi on alkuperäinen pihkapitoisuus.



Kuva 3. Eri männikköjen (1...11) kontrollipuiden pihkapitoisuuden riippuvuus 6 vuoden keskimääräisestä vuotuisesta pinta-alan kasvusta. Pisteisiin liittyvät luvut tarkoittavat metsikköjä.

Fig. 3. Effect of the average annual area increment of 6 years on the resin content of control trees in pine stands 1...11. The numbers refer to stands.

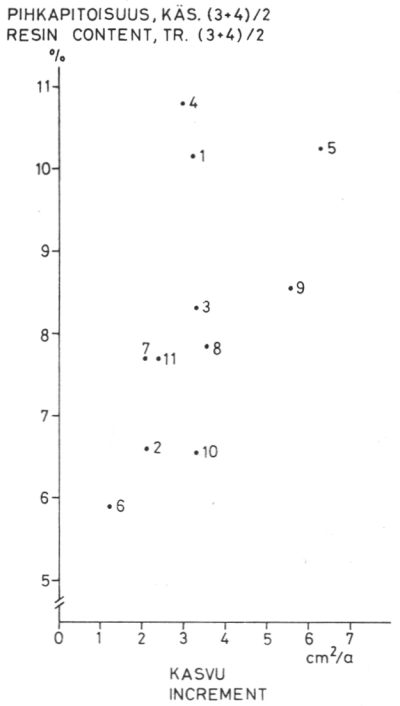


Kuva 4. Eri männikköjen (2, 3, 5...11) käsittelyjen 2, 3 ja 4 pihkapitoisuuksien keskiarvon riippuvuus metsikön puiden keskimääräisestä latvussuhteesta. Pisteisiin liittyvät luvut tarkoittavat metsikköjä.

Fig. 4. Effect of the average crown ratio of the stand on the average resin content of treatments 2, 3, and 4 in various pine stands. The numbers refer to stands.

Koska on vaikea ymmärtää, miksi alkuperäinen pihkapitoisuus voi vaikuttaa käsittelyn tehokkuuteen, pyrittiin löytämään sellaisia tekijöitä, jotka korreloituisivat kontrollipuiden pihkapitoisuuden kanssa. Tällöin havaittiin, että kontrollipuiden pihkapitoisuus oli sitä alhaisempi, mitä suurempi oli metsikön keskimääräinen latvussuhde eli elävän latvuksen osuus puun koko pituudesta (kuva 2). Kun kasvu on puolestaan sitä parempi, mitä pidempi elävä latvus on, vastaava riippuvuus saatiin myös kasvun ja kontrollipuiden pihkapitoisuuden välille. Kuten kuvasta 3 nähdään, kontrollipuiden pihkapitoisuus oli sitä alhaisempi, mitä suurempi oli poikkipinta-alan kasvu kokeen perustamista edeltäneiden kuuden vuoden aikana.

Edellä olevasta voidaan päätellä, että kontrollipuiden ja vastaavasti alkuperäinen pihkapitoisuus on sitä alhaisempi, mitä hyväkuntoisemmista puista on kyse. Vastaavasti tarkasteltaessa pihkan lisääntymisreaktiota havaitaan, että käsiteltyjen puiden



Kuva 5. Eri männikköjen (1...11) käsittelyjen 3 ja 4 keskiarvojen riippuvuus käsittelyä edeltäneen 6 vuoden keskimääräisestä vuotuisesta kasvusta. Pisteisiin liittyvät luvut tarkoittavat metsikköjä.

Fig. 5. Effect of the average annual area increment of the six years preceding the treatment on the average resin content of treatments 3 and 4 in pine stands 1...11. The numbers refer to stands.

pihkapitoisuus on sitä korkeampi, mitä suurempi puiden latvussuhde on ja mitä parempi niiden kasvu on. Tätä osoittavat kuvat 4 ja 5, joissa on tarkasteltu, kuinka eräiden käsittelyjen aiheuttama pihkapitoisuus riippuu puiden latvussuhteesta ja poikkipinta-alan kasvusta.

Kuvissa 4 ja 5 on tarkasteltu absoluuttista pihkapitoisuutta. Vielä jyrkempi kuvaaja saataisiin, mikäli tarkasteltaisiin pihkapitoisuuden prosentuaalista nousua. Näin ollen voidaan sanoa, että käsittelyjen aiheuttama pihkapitoisuus on sekä absoluuttisesti että suhteellisesti sitä suurempi, mitä hyväkuntoisemmista puista on kyse.

Edellä olevat johtopäätökset perustuvat koealojen väliseen tarkasteluun. Joitakin kokeita tehtiin tarkoituksena selittää saman koealan sisällä vaihtelua puiden yksilöllisten ominaisuuksien perusteella. Myös tällöin tulokset olivat samansuuntaisia: yleensä voitiin havaita, että jollakin käsittelyllä saatu tulos oli sitä parempi, mitä elinvoimaisemmasta männystä oli kyse. Täsmällistä vertailua kuitenkin vaikeutti, ettei samassa metsikössä oltu yleensä samaa käsittelyä kohdistettu useaan puuhun. Tämän vuoksi johtopäätös perustui usein havaintoon, että jonkin käsittelyn aiheuttama pihkapitoisuuden lisäys oli odotettua alhaisempi heikkokasvuisen puun ollessa kyseessä ja odotettua parempi hyväkasvuisen puun kohdalla.

Käsitystä, että pihkapitoisuuden nousu on erityisen merkittävä hyväkasvuisissa männyissä, tukevat monet tutkimustulokset. Pihkomisessa on yleensä havaittu, että se

kannattaa keskittää mahdollisimman elinvoimaisiin ja hyväkasvuisiin, suurikokoisiin mäntyihin hyvän tuloksen aikaansaamiseksi, kuten aiemmin siteeratuissa kirjallisuusviitteissä on todettu (s. 17). Nykyaikaisia puuaineen pihkoittamismenetelmiä käytettäessä on samoin havaittu, että käsittely tehoaa parhaiten hyväkasvuisiin mäntyihin (Novoselov ym. 1976, Clason 1977).

8.2.3. Käsittelyn vaikutus

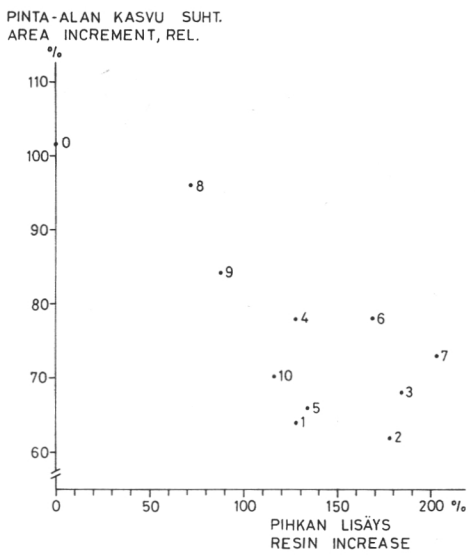
Taulukkojen 7 ja 8 perusteella voidaan päätellä, mitkä käsittelyjä erottavat piirteet ovat tärkeimmät pihkan lisääntymiseen vaikuttavat tekijät.

Kun vertaillaan käsittelyjä 1, 2 ja 3, havaitaan, että parakvaattiliuoksen määrän lisääntyessä haavaa kohti pihkapitoisuuden lisääntyminen suurenee. Näyttää kuitenkin siltä, että parakvaattiliuoksen määrän lisääntyessä kolmesta millilitrasta kuuteen millilitraan pihkapitoisuuden lisäys on suurempi kuin lisättäessä vielä ylimääräinen kolme millilitraa haavaan. Vastaavasti voidaan havaita vertaamalla keskenään käsittelyjä 4 ja 5 sekä 6 ja 7, että myös tällöin parakvaattiliuoksen määrän lisääminen kasvattaa pihkapitoisuuden kohoamista.

Taulukoista 7 ja 8 voidaan edelleen havaita, että haavojen lukumäärä on erittäin merkittävä tekijä pihkapitoisuuden nousussa. Kovin suurta vaikutusta ei ole, sijaitsevatko haavat samalla korkeudella vai eri korkeuksilla. Kokeilluista vaihtoehdoista parhaat tulokset saatiin tekemällä kolmelle korkeudelle kullekin neljä haavaa, joihin pantiin yhdeksän millilitraa parakvaattiliuosta. Tällöin pihkapitoisuus kohosi kontrollipuihin verrattuna keskimäärin kolminkertaiseksi. Tätä tulosta ei ole pidettävä huonona otettaessa huomioon, että käytetyillä alhaisilla parakvaattikonsentraatioilla säilyttiin täydellisesti ilman hyönteisvahinkoja kaikilla koealoilla.

Edelleen taulukoiden perusteella voidaan päätellä, etteivät poranreiät anna yhtä hyvää tulosta kuin laajempaan kuoren rikkomiseen perustuvat menetelmät. Tästä havaitaan, ettei ratkaisevaa merkitystä ole parakvaattiliuoksen määrällä, joka poranreikiä käytettäessä oli kuitenkin aivan toista suuruusluokkaa kuin kirveellä tehtyjä haavoja käytettäessä. Toisaalta oli havaittavissa, että poranreikien lukumäärän kasvaessa reaktio parani.

Edellä on tarkasteltu pelkästään keskiarvoja. Hajontalukujen perusteella oli laskettavissa, että kaikkien käsittelyjen ja kontrollipuiden välillä vallitsi tilastollisesti merkitsevä ero. Sitä vastoin eri käsittelyjen väliset erot olivat useissa tapauksissa vailla tilastollista merkitsevyyttä. Pääsyynä oli huomattava hajonta, joka aiheutui lähinnä siitä, että käsitellyt puut poikkesivat samassakin metsikössä vitaliteetiltaan ja muilta ominaisuuksiltaan toisistaan huomattavasti. Ilmeistä on, että tilastollisesti merkitsevien erojen saamiseksi puukohtaisesta kokeilusta on pakko siirtyä koealojen väliseen tarkasteluun, mikä on yleinen käytäntö mm. lannoitustutkimuksissa.



Kuva 6. Käsittelyä seuranneen 3 vuoden keskimääräinen poikkipinta-alan kasvu prosentteina edeltäneen 6 vuoden kasvusta ja sen riippuvuus pihkan lisääntymisestä männyllä. Pisteisiin liittyvät luvut tarkoittavat käsittelyjä (taulukko 2).

Fig. 6. Average area increment of the three years period following the treatment in per cent of the six years period preceding it, and its relation to the increase in resin content in pines. The numbers refer to treatments (Table 2).

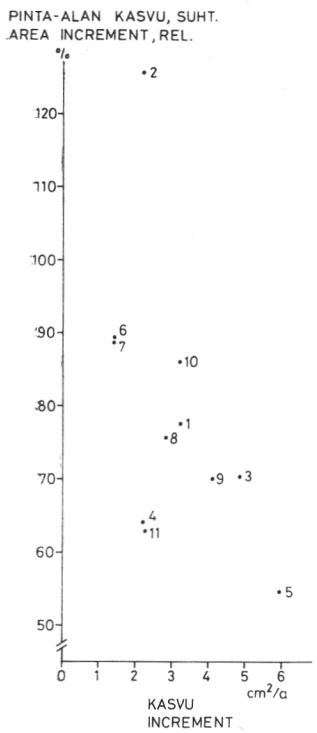
8.3. Vaikutus kasvuun

Kun samat yhteyttämistuotteet voivat olla joko pihkan tai selluloosan lähtöaineena, on määräolettamuksin selvää, että puuaineen pihkoittumisen lisääntyessä kasvu alenee. Toisaalta kasvu saattaa vähentyä käsittelemättömiin puihin verrattuna myös siksi, että haavat estävät paikallisesti uuden puuaineksen muodostumisen. Vaikka haavojen ympärille yleensä kehittyy tavanomaista paksumpia lustoja, näiden tilavuus ei tavallisesti riitä peittämään haavasta aiheutunutta tilavuuden menetystä.

Kuten aiemmin on mainittu, satunnaisten kasvuvaihtelujen eliminoimiseksi tarkasteltiin käsittelyä seuranneen kolmen vuoden kasvua suhteessa käsittelyä edeltäneen kuuden vuoden kasvuun. Tällöin havaittiin, että käsittelemättömissä puissa kolmen vuoden kasvu oli vuotta kohti noin 1,5 % suurempi kuin edeltäneiden kuuden vuoden vastaava kasvu. Sitä vastoin käsitellyissä puissa havaittiin, että kolmen vuoden kasvu oli olennaisesti alhaisempi. Tämä näkyy kuvasta 6, jossa on esitetty kaikkia koealoja koskevat tulokset siten, että havaintopisteet muodostuvat eri käsittelymenetelmien keskiarvoista.

Kuvan 6 mukaan pihkan lisäyksen ollessa 200 %, ts. pihkapitoisuuden tullessa kolminkertaiseksi, pinta-alan kasvu oli noin 35 % alhaisempi kuin mitä se muutoin olisi. Riippuvuus näyttää olevan likimäärin lineaarinen vähäisen aineiston perusteella arvostellen.

Tulosten oikeaksi tulkitsemiseksi on huomattava, että eri tavoilla käsitellyt rungot olivat keskimäärin samankokoisia ja kasvultaan likimain samanlaisia ($\pm$20 %). Tämä johtuu luonnollisesti siitä, että kullakin koealalla käsittelyt arvottiin puiden kesken.



Kuva 7. Käsittelyä seuranneen 3 vuoden keskimääräinen poikkipinta-alan kasvu prosentteina edeltäneen 6 vuoden kasvusta ja sen riippuvuus edeltäneen 6 vuoden keskimääräisestä vuotuisesta pinta-alan kasvusta männyllä. Pisteisiin liittyvät luvut tarkoittavat metsikköjä.

Fig. 7. Average area increment of the three years period following the treatment in per cent of the increment of the six years period preceding it, and its relation to the average annual area increment of the six years period in pine stands 1...11. The numbers refer to stands.

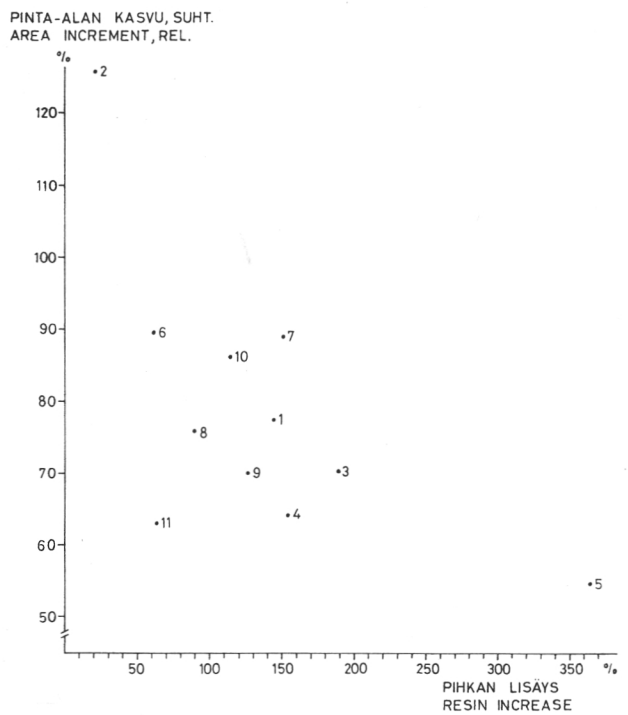
Näin ollen kuvassa 6 käsittelyn 2 saaneet puut olivat likimain samanlaisia kuin kontrollipuut.

Tehtyjen johtopäätösten pätevyyttä voidaan kontrolloida tarkastelemalla kasvun ja pihkan lisääntymisen suhteita havaintoyksikköinä koealat. Tällöin voidaan tarkastella mm. käsittelyä edeltäneen kasvun vaikutusta.

Kuvassa 7 on esitetty, kuinka keskimääräinen suhteellinen pinta-alan kasvu riippui käsittelyä edeltäneen ajanjakson keskimääräisestä vuotuisesta pinta-alan kasvusta. Kuvan mukaan kasvu aleni sitä enemmän, mitä korkeampi käsittelyä edeltänyt kasvu oli. Tämä oli luonnollisesti odotettavissa, koska hyvään kasvuun liittyy aiemmin todetun mukaisesti suuri runkojen pihkapitoisuuden nousu sekä absoluuttisesti että suhteellisesti.

Vastaavasti on kuvassa 8 tarkasteltu, mikä oli koealoittain lasketun pihkan lisäyksen ja pinta-alan kasvun riippuvuus. Tällöin yhdistettiin kaikki käsittelyt ja tarkasteltiin niiden keskiarvoa. Näin voitiin menetellä, koska kyseessä olivat sekä pihkan lisäyksen että pinta-alan kasvun osalta samat puut.

Kuvan mukaan männikössä 2 kasvu oli käsittelyn jälkeen suurempi kuin ennen sitä. Tämä tulos johtui metsikön harvennuksesta, eikä sillä ole periaatteessa mitään tekemistä pihkan lisäyksen kanssa. Kiintoisaa kuitenkin on, että myös pihkan lisäys oli epätavallisen alhainen.

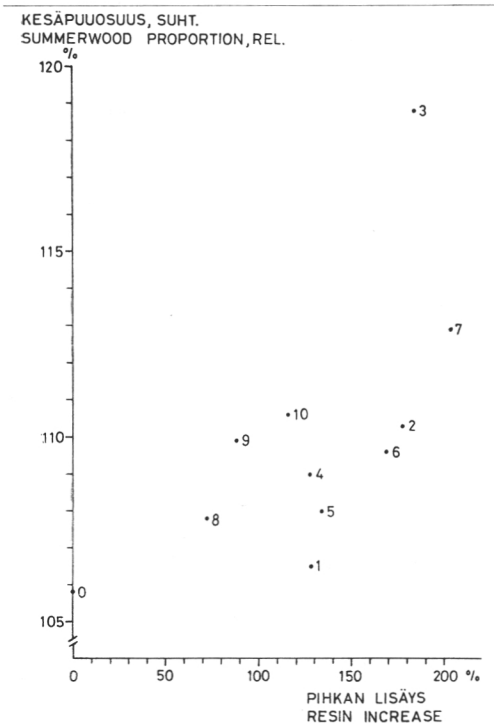


Kuva 8. Käsittelyä seuranneen 3 vuoden keskimääräinen poikkipinta-alan kasvu prosentteina edeltäneen 6 vuoden kasvusta ja sen riippuvuus pihkan lisääntymisestä männiköissä 1 . . . 11. Pisteisiin liittyvät luvut tartarkoittavat metsikköjä.

Fig. 8. Average area increment of the three years period following the treatment in per cent of the six years period preceding it and its relation to the resin increase in pine stands 1 . . . 11. The numbers refer to stands.

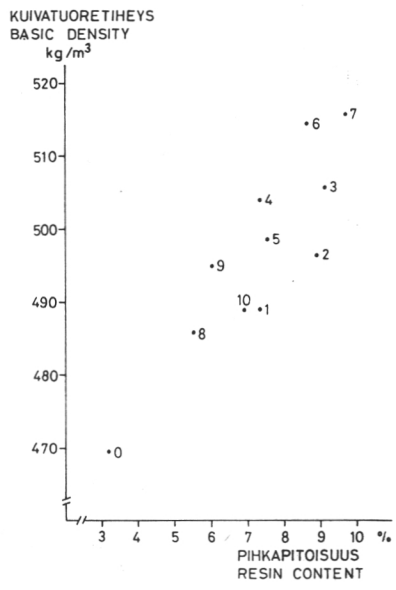
Muutoin kuvassa 8 esitetyt tulokset tukevat aiemmin esitettyjä johtopäätöksiä: pinta-alan kasvu heikkenee sitä enemmän, mitä suurempi on pihkan lisääntyminen. Tulokset tukevat myös käsitystä vaikutuksen suuruudesta: pihkan lisäyksen ollessa 200 % kasvu aleni noin 35 %. Käyräviivaisen riippuvuuden mahdollisuutta ei voida täysin sulkea pois. Kun kuitenkin metsikön 2 antama informaatio on kyseenalainen, luultavampaa on olettaa, että tarkastellulla vaihteluvälillä pinta-alan kasvulla ja pihkan lisäyksellä vallitsee suoraviivainen riippuvuus.

Edellä on tarkasteltu pelkästään poikkipinta-alan kasvua. Nämä tulokset voidaan yleistää myös kaksimetrisen tyvipölkyn tilavuuskasvuksi. Sitä vastoin johtopäätökset eivät ole suoraan yleistettävissä massamääräisiin tarkasteluihin. Tämä johtuu siitä, että kesäpuuosuus näyttää muodostuvan sitä suuremmaksi, mitä alhaisempi kasvu on. Tästä aiheutuu, että pihkan lisäyksen kasvaessa kesäpuuosuus kohoaa. Tämä näkyy kuvasta 9, jossa on esitetty käsittelyä seuranneen kolmen vuoden keskimääräinen kesäpuuosuus prosentteina edeltäneen kuusivuotisjakson kesäpuuosuudesta ja sen osuus pihkan lisääntymisestä. Kovin suurta merkitystä tällä kesäpuuosuuden kasvusta aiheutuneella puuaineen tihentymisellä ei kuitenkaan ole: pihkapitoisuuden lisääntyessä kolminkertaiseksi kesäpuuosuus nousee noin 10 %. — Joka tapauksessa kesäpuuosuutta koskevat tulokset osoittavat, että kasvureaktio on massamääräisesti ajatellen korkeintaan tilavuuskasvun muutoksen osoittaman suuruinen ja todellisuudessa vähän pienempi.



Kuva 9. Käsittelyä seuranneen 3 vuoden keskimääräinen kesäpuuosuus prosentteina edeltäneen 6 vuoden kesäpuuosuudesta ja sen riippuvuus pihkan lisääntymisestä männyllä. Pisteisiin liittyvät luvut tarkoittavat käsittelyjä (taulukko 2).

Fig. 9. Average summerwood proportion of the three years period following the treatment in per cent of the six years period preceding it, and its relation to the increase in the resin content of pine. The numbers refer to treatments (Table 2).



Kuva 10. Mäntykiekoista mitatun kuiva-tuoretiheyden riippuvuus niiden pihkapitoisuudesta. Luvut tarkoittavat käsittelyjä 0 (kontrolli) ja 1...10 (taulukko 2).

Fig. 10. Effect of resin content measured from pine disks on their basic density. The numbers to the treatments 0 (control) and 1...10 (Table 2).

On myös selvää, että uuttamattoman puun kuiva-tuoretiheys kasvaa pihkapitoisuuden lisääntyessä. Tämä johtuu luonnollisesti siitä, että pihka-aineet täyttävät trakeideja ja muita soluja ja lisäävät näin ollen tilavuusyksikön massaa. Kun pihka-aineiden tiheys pysyy likimain vakiona pihkapitoisuuden noususta riippumatta, on selvää, että kuiva-tuoretiheyden riippuvuus pihkapitoisuudesta on likimain lineaarinen. Tätä käsitystä tukevat myös kuvassa 10 esitetyt tulokset, joissa havaintopisteinä on käytetty eri käsittelyjen keskiarvoja.

Käänteisesti em. riippuvuudella on käytännössä suuri merkitys. Jos nimittäin kiekkoja otetaan sekä käsitellyistä että käsittelemättömistä, mutta muuten samanlaisista puista, kiekkojen ilmakuivatiheyden tai kuiva-tuoretiheyden perusteella voidaan päätellä uuttamiseen verrattuna helpolla ja kuitenkin luotettavalla tavalla pihkapitoisuuden nousu. Tähän mahdollisuuteen on kiinnitetty huomiota myös muualla ajateltaessa erityisesti käytännön kontrollitoimia pihkoittamiskäsittelyn jälkeen (S o s n i n 1972).

9. HAVAINTOJA KUUSESTA

Seuraavassa esitetään joitakin havaintoja kuusesta kahden kasvukauden jälkeen. Kuusen vähäisemmän merkityksen vuoksi jätettiin pois mm. kasvua koskevat mittaukset.

Taulukossa 9 on esitetty eri käsittelyjen vaikutus eri koealoilla kuusen pihkapitoisuuteen. Mäntyyn verrattuna pihkan määrä oli selvästi alhaisempi sekä käsittelemättömissä kontrollipuissa että käsitellyissä rungoissa. Sitä vastoin taulukossa 10 esitetyt suhteelliset arvot ovat vähintään samaa luokkaa kuin männyllä tai jopa parempia, kun otetaan huomioon, että kyseessä ovat kahden kasvukauden jälkeen tehdyt mittaukset.

Taulukko 9. Eri käsittelyjen vaikutus kuusen pihkapitoisuuteen (%) eri metsiköissä kahden kasvukauden jälkeen.

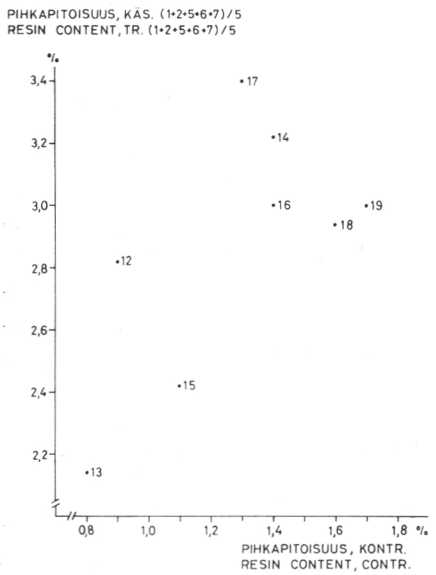
Table 9. The effect of treatments on the resin content of spruce (%) in various stands after two growing seasons.

Metsikkö — *Stand*	Käsittely — *Treatment*									
	0—s	1—s	2—s	3—s	4—s	5—s	6—s	7—s	8—s	9—s
	Pihkapitoisuus, % — *Resin content*, %									
12	0,0	4,0	3,3	..	3,9	2,2	2,7	1,9	1,6	3,0
13	0,8	1,9	2,3	2,4	2,6	2,6	1,9	2,0	2,4	2,9
14	1,4	3,3	3,4	2,3	2,8	3,1	2,9	3,4	..	..
15	1,1	2,1	2,4	2,0	3,1	0,8	4,0	2,8	3,1	3,3
16	1,4	1,5	3,1	2,8	2,8	3,0	3,7	3,7	..	3,5
17	1,3	3,5	2,9	3,3	2,9	3,4	3,2	4,0	2,9	2,7
18	1,6	3,3	3,4	2,9	2,8	2,4	3,3	2,3	3,5	2,4
19	1,7	3,0	4,4	2,5	..	2,5	2,3	2,8	3,1	2,3
Yht. — *Total*	1,3	2,8	3,1	2,6	3,0	2,5	3,0	2,9	2,8	2,9

Taulukko 10. Eri käsittelyjen vaikutus kuusen pihkapitoisuuteen (suhteelliset arvot) eri metsiköissä kahden kasvukauden jälkeen.

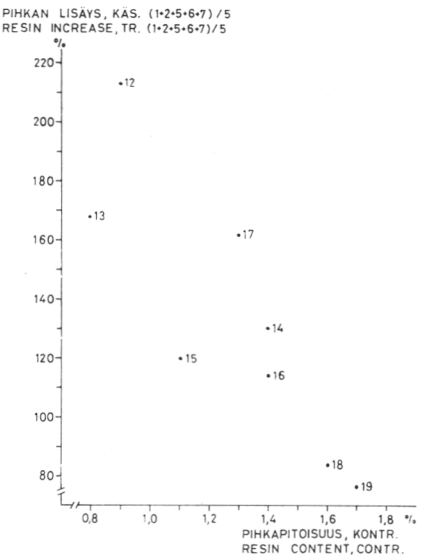
Table 10. The effect of treatments on the resin content of spruce (relative values) in various stands after two growing seasons.

Metsikkö — *Stand*	Käsittely — *Treatment*									
	0—s	1—s	2—s	3—s	4—s	5—s	6—s	7—s	8—s	9—s
	Suhteellinen pihkapitoisuus — *Relative resin content*									
12	100	444	367	..	433	244	300	211	178	333
13	100	238	288	300	325	325	238	250	300	363
14	100	236	243	164	200	221	207	243	..	..
15	100	191	218	182	282	73	364	255	282	300
16	100	107	221	200	200	214	264	264	..	250
17	100	269	223	254	223	262	246	308	223	208
18	100	206	213	181	175	150	206	144	219	150
19	100	176	259	147	..	147	135	165	182	135
Yht. — *Total*	100	215	238	200	231	192	231	223	215	223



Kuva 11. Eri kuusikkojen (12...19) kontrollipuiden ja käsittelyjen 1, 2, 5, 6 ja 7 keskiarvojen pihkapitoisuus. Pisteisiin liittyvät luvut tarkoittavat metsikköjä.

Fig. 11. Resin content of control trees and averages of treatments 1, 2, 5, 6, and 7 in various spruce stands. The numbers refer to stands 12... 19.



Kuva 12. Käsittelyjen 1, 2, 5, 6 ja 7 aiheuttaman keskimääräisen pihkan lisääntymisen riippuvuus kontrollipuiden pihkapitoisuudesta kuusimetsiköissä 12...19. Pisteisiin liittyvät luvut tarkoittavat metsikköjä.

Fig. 12. Relation between the average resin content increase due to the treatments 1, 2, 5, 6, and 7, and the resin content of control trees in spruce stands 12...19. The numbers refer to stands.

Koealojen ja käsittelyjen väliset erot näyttävät olevan pienempiä kuin männyllä. Ilmeisesti kuusiaineisto on homogeenisempi, kuten voidaan olettaa, koska kuusen leimaus ei kohdistunut aivan niin selvästi kuin männyllä selvästi vallittuihin puihin. Kuusella myös leimatut puut olivat yleensä hyväkuntoisia ja elinkelpoisia myös myöhempää kasvatusta ajatellen, toisin kuin useissa tapauksissa männyllä.

Käytännössä absoluuttiset pihkapitoisuusluvut ovat tärkeämpiä kuin suhteelliset arvot, koska ne osoittavat, kuinka paljon uuteaineita puuaineesta on mahdollista saada.

Kuusen ja männyn välillä on muitakin selviä eroja. Taulukoista 8 ja 10 voidaan päätellä, että pihkapitoisuus lisääntyi sitä enemmän, mitä korkeampi oli alkuperäinen pihkapitoisuus. Tämä riippuvuus on esitetty kuvassa 11. Kaikkien koealojen tarkastelun mahdollistamiseksi indikaattorina käytettiin käsittelyjen 1, 2, 5, 6 ja 7 keskimääräistä pihkapitoisuutta, koska kaikilta koealoilta saatiin havaintoja näiden käsittelyjen vaikutuksesta.

Kuvan 11 mukaan absoluuttinen koepuiden pihkapitoisuus kohosi selvästi ja jyrkästi kontrollipuiden pihkapitoisuuden noustessa. Sitä vastoin suhteellinen pihkan lisäys oli sitä pienempi, mitä korkeampi kontrollipuiden pihkapitoisuus oli. Tämä riippuvuus on esitetty kuvassa 12.

Taulukko 11. Haavan sekä haavan + kemikaalin vaikutus kuusen pihkapitoisuuteen kahden kasvukauden jälkeen. Pölkky jaettiin pituussuunnassa kahtia. Toisessa puoliskossa oli puhtaita haavoja ja toisessa haavoja ja kemikaalikäsittely.

Table 11. Effect of wound and that of wound + chemical on the resin content of spruce after two growing seasons. The bolt was divided into two in length direction. In one half there were only pure wounds, and in the other wounds and chemical treatment.

Käsittely — *Treatment*	Haava — *Wound*		Haava + kem. *Wound + chem.*	
	Pihkapitoisuus — *Resin content*			
	%	Suht. — *Rel.*	%	Suht. — *Rel.*
11—s	2,3	100	3,1	135
12—s	2,4	100	3,0	125
13—s	2,8	100	3,1	111
14—s	2,5	100	3,9	156
15—s	2,5	100	3,5	140
16—s	2,4	100	3,0	125
17—s	2,1	100	2,5	119
18—s	2,6	100	2,9	112
19—s	2,6	100	3,5	135

Haavoittamattomien kontrollipuiden pihkapitoisuus: 1,3 %.
Resin content of unwounded control trees: 1,3 %.

Näyttää myös siltä, että käsittelyn vaikutustapa on erilainen kuusella kuin männyllä. Tähän viittaavat taulukon 11 tulokset, joiden mukaan pelkkä haava vaikutti pihkapitoisuuden nousuun suhteellisesti enemmän kuin haavan ja kemikaalin yhteinen vaikutus. Tämä tulos ei ole odotusten mukainen sen vuoksi, että kuusella kokeiltiin myös olennaisesti vahvempia parakvaattikonsentraatioita kuin männyllä. Taulukossa 11 esitettyjä eri käsittelyjä vertaamalla näyttää siltä, että parakvaatin vaikutus jäi parhaimmillaankin suhteellisen niukaksi pelkkään haavaan verrattuna. Ilmeisesti kuusella traumaattiset pihkatiehyet, joita tiedetään syntyvän runsaasti haavoittamisen seurauksena (Nylinder 1951, Tolkačev ja Sinelobov 1954), merkitsevät olennaisesti enemmän kuin männyllä.

Tässä yhteydessä ei tarkastella tarkemmin kuusta koskevia tuloksia. Alustavien tulosten mukaan näyttää kuitenkin siltä, että lukuisissa tutkimuksissa todettu kuusen reaktion heikkous mäntyyn verrattuna (Rowe ym. 1976, Conner ym. 1977 a, b, Sandberg ym. 1977), tulee todennetuksi myös Suomen oloissa. Myös muut käytännölliset näkökohdat viittaavat siihen, ettei kuusen kemiallinen käsittely voine tulla kysymykseen käytännössä. Silmävaraisten havaintojen mukaan jo kahden kasvukauden aikana haavoista oli levinnyt runkoon runsaasti lahoa, joka näytti etenevän haavasta ylös- ja alaspäin suunnilleen samalla nopeudella kuin mitä lahon on keskimäärin havaittu etenevän puunkorjuusta aiheutuneista vaurioista (Isomäki ja Kallio 1974).

10. LASKENTAMALLI MÄNNYN PIHKOITTAMISEN TALOUDELLISESTA MERKITYKSESTÄ

Käsillä olevassa tutkimuksessa pyrittiin pihkoittamaan vallittuja mäntyrunkoja, jotka olisi järkevä poistaa seuraavassa harvennuksessa. Pihkoittamistoimen taloudellisen järkevyyden arvioimiseksi on tiedettävä

— kuinka suuri osa rungon käyttöosasta pihkoittuu
— kuinka paljon pihkapitoisuus nousee
— kuinka paljon rungon käyttöosan kasvu alenee
— kuinka paljon voidaan valmistaa sellua ja raakaa mäntyöljyä sekä mikä on niiden katetuotto.

Kun kaikki käytettävissä olevat tiedot perustuvat kaksimetrisen tyvipölkyn pihkoittumiseen ja kasvuun, jäljempänä oletetaan varovaisuusperiaatetta noudattaen, että pihkoittumista tapahtuu vain tyvipölkyssä, mutta kasvun alenemista koko rungon käyttöosalla. Tärpätti on laskettu mukaan mäntyöljyyn.

Mallin parametrit ovat seuraavat:

R = rungon käyttöosan keskimääräinen kuiva-tuoretiheys *uutettuna* kg/m³. Nyt tutkitussa aineistossa kontrollipuiden tyvipölkyissä tiheys oli 470 kg/m³. Keskimäärin rungon käyttöosalla se on n. 10 % alhaisempi (esim. Hakkila 1966, s. 40). Jäljempänä käytetään esimerkkilaskelmissa arvoa 420 kg/m³,

p_o = käsittelemättömän rungon käyttöosan vuotuinen kasvu %. Koska tiheys kasvaa tunnetusti männyllä ytimestä pintaan päin, se on hieman suurempi kuin tilavuuden kasvuprosentti. Tämän tutkimuksen vallituilla männyillä p oli 2,5 %. — Jäljempänä oletetaan, että kasvuprosentti on sama rungon eri osissa.

p_1 = käsitellyn rungon massan kasvu %. — Tämän tutkimuksen perusteella oletetaan, että $p_1 = p_o\,(1{,}18—0{,}18\ q_1/q_o)$. Esim. jos $q_1/q_o = 3$, kasvuprosentti on 64 % käsittelemättömään runkoon verrattuna.

q_o = käsittelemättömän rungon pihkapitoisuus % uutetusta massasta.

q_1 = käsitellyn rungon pihkapitoisuus % uutetusta massasta tyvipölkyssä. Muualla pihkapitoisuuden oletetaan olevan q_o.

Käsillä olevassa tutkimuksessa q laskettiin uuttamattomasta massasta. Luvun pienuudesta johtuen se on likimain sama kuin laskettuna uutetusta massasta. Keskiarvo oli kontrollipuilla $q_o = 3{,}2$ %

z = tyvipölkyn kuivan massan osuus % rungon käyttöosan massasta. Pienillä puilla ($d_{1,3} = 9\ldots 15$ cm) se on yleensä 25...35 %. Jäljempänä käytetään arvoa 30 %.

t = aika käsittelystä runkojen korjuuseen. Jäljempänä odotusaika oletetaan kolmeksi vuodeksi. Ilman olennaista virhettä kokonaiskasvu on tällöin tp %.

y = sellusaanto % uutetusta massasta

v_i = rungon tilavuus m^3 ajankohtana i käsittelystä

r = raa'an mäntyöljyn nettoarvo mk/kg. Arvossa otetaan huomioon, kuinka suuri osa saadaan talteen ja myydään sekä kuinka suuri osa poltetaan muun jäteliemen mukana. Jälkimmäiselle osalle lasketaan arvo polttoaineena.

c = kaupallisen selluloosan nettoarvo mk/kg

m_i = rungon käyttöosan massa ajankohtana i käsittelystä

A = arvo

Edellä olevia merkintöjä käyttäen saadaan käsitellyn rungon arvo em. osiltaan seuraavasti.

Rungon käyttöosan massa t vuoden jälkeen käsittelystä v_3

$$(5) \qquad m_3 = \frac{v_0 R(100+3p)}{100} = \frac{v_0 R(100+tp_0\ (1{,}18-0{,}18\ q_1/q_0))}{100}$$

Siitä saatavan sellun arvo A_c on

$$(6) \qquad A_c = \frac{y m_3 c}{100}$$

Tyvipölkystä saatavan pihkan arvo on

$$(7) \qquad A_{r1} = \frac{z m_3 r\ q_1}{100 \cdot 100}$$

Muusta rungon osasta saatavan pihkan arvo on

$$(8) \qquad A_{r_2} = \frac{(100-z)\ m_3 r\ q_0}{100 \cdot 100}$$

Rungon kokonaisarvo A_T on lausuttavissa kaavojen (1). . .(4) avulla, ts.

$$(9) \qquad A_T = A_c + A_{r1} + A_{r_2} = \frac{m_3}{100}\left(yc + \frac{zrq_1}{100} + \frac{(100-z)\ rq_0}{100}\right)$$

Kun halutaan laskea pihkoittamisen taloudellinen merkitys puuta kohti, lasketaan erotus $A_{TO}-A_{TT}$, jossa edellinen on puun arvo ilman pihkoittamista ($q_0 = q_1$) ja jälkimmäinen pihkoitettuna ($q_0 < q_1$). — Lasketuissa esimerkeissä käytetään seuraavia parametrien arvoja.

R = 420 kg/m^3 — *Basic density*

p_0 = 2,5 % — *Annual increment of untreated trees. That of treated trees is in this example 1,6 %.*

q_0 = 3,2 % — *Resin content of the butt log of untreated trees*

q_1 = 9,6 % — *Resin content of the butt log of treated trees*

z = 30 % — *Weight of the butt log in per cent of the stem*

t = 3 — *Years from treating to harvesting*

y = 50 % — *Yield in pulping*

v_0 = 0,057 m^3 ($d_{1,3}$ = 11 cm, h = 12 m) tai 0,141 m^3 ($d_{1,3}$ = 15 a, h = 16 m) — *volume of the stem*

r = 1,00, 1,45, 2,00 tai 3,00 mk/kg — *Price of crude tall oil*

c = 1,45 mk/kg — *Price of cellulose*

Edellinen puun koko, rinnankorkeusläpimitta 11 cm ja pituus 12 m, on tyypillinen ensimmäisen tai toisen harvennuksen männiköille. Jälkimmäinen koko, läpimitta 15 cm ja pituus 16 m, on suurimpia puita mitä voitaneen ajatella käsiteltäväksi Suomen oloissa, missä sahapuun arvo on olennaisesti korkeampi kuin kuitupuun. — Raa'an mäntyöljyn vientihinta (r) on nykyisin (1980) noin 1 mk/kg. Puolivalkaistun tai valkaistun sulfaattisellun vientihinta (c) on taas noin 1,45 mk/kg. — Esimerkki perustuu tyvipölkyn pihkapitoisuuden kasvuun 200 % ja vastaavaan kasvun alenemiseen 3 vuoden aikana.

Taulukossa 12 esitettyjen tulosten mukaan nykyhinnoilla (r = 1,00 mk/kg, c = 1,45 mk/kg) mäntypuiden käsittely ei ole taloudellista laskentaedellytyksillä: kasvun ja siitä aiheutuvan selluloosan määrän alentumisessa menetetään enemmän kuin mitä raa'asta mäntyöljystä saadaan. Sitä vastoin jo hintojen samansuuruisuus antaa varteenotettavia mahdollisuuksia erityisesti suurten ja elinvoimaisten runkojen ollessa kyseessä. Edelleen jos raa'an mäntyöljyn hinta nousee nykyisestä kaksinkertaiseksi, mahdollisuudet vaikuttavat jo hyviltä. Voidaan nimittäin olettaa, että moottorityökaluilla voidaan käsitellä 500...1 000 runkoa päivässä (esim. S t o n e 1975, s. 9). Tällöin pienillä puilla tuottoero olisi työpäivää kohti 225...450 mk ja suurilla puilla 560...1 120 mk. Näitä lukuja voi pitää riittävän suurina käsittely- ja korkokustannusten peittämiseen.

Taulukko 12. Rungosta saadun pihkan (raaka mäntyöljy) ja selluloosan myyntihinta runkoa kohti käsitellyissä ja käsittelemättömissä rungoissa.
Table 12. Price of resin (crude tall oil) and cellulose of one treated or untreated tree. Level of other factors, see p. 59.

Rungon tilavuus *Stem volume* m³	Hinta mk/kg *Price mk/kg*		Hinta mk/runko — *Price mk/stem*						
	Raaka mäntyöljy *Crude tall oil*	Selluloosa *Cellulose*	Käsitelty puu *Treated tree*			Kontrollipuu *Control tree*			Ero *Difference* A—B
			Pihka *Resin*	Sellu *Cellulose*	Yht. *Total* A	Pihka *Resin*	Sellu *Cellulose*	Yht. *Total* B	
0,057	1,00	1,45	1,28	18,19	19,47	0,82	18,66	19,48	—0,01
»	1,45	»	1,86	18,19	20,05	1,19	18,66	19 85	0,20
»	2,00	»	2,57	18,19	20,76	1,65	18,66	20,31	0,45
»	3,00	»	3,85	18,19	22,04	2,47	18,66	21,13	0,91
0,141	1,00	»	3,18	45,00	48,17	2,04	46,15	48,19	—0,02
»	1,45	»	4,61	45,00	49,60	2,95	46,15	49,11	0,49
»	2,00	»	6,36	45,00	51,35	4,07	46,15	50,23	1,12
»	3,00	»	9,53	45,00	54,53	6,11	46,15	52,27	2,26

11. TULOSTEN TARKASTELUA

Suomen oloissa käyttökelpoisin tapa ottaa talteen puuraaka-aineen pihka lienee sulfaattiselluloosan teon yhteydessä. Laitteet tähän ovat jo valmiina eivätkä vaadi uusia investointeja. Lisäksi tekniikka hallitaan jo perinteisesti. Jäteliemeen jäävät pihka-aineet saadaan automaattisesti hyödynnetyksi energiana jäteliemen polton yhteydessä. Muut mahdolliset ratkaisut, esim. pihkapitoisen hakkeen uuttaminen liuottimilla tai pihkan keruu sellaisenaan puihin tehdyistä haavoista, eivät vaikuta yhtä järkeviltä ratkaisuilta Suomen oloissa.

Teollisuuden raaka-aineena käytettävän puutavaran pihkapitoisuutta voidaan nostaa helpoimmin valitsemalla raaka-aine sopivasti. Erityisen alhainen pihkapitoisuus on sahausjätteissä, koska niissä on sydänpuun osuus vähäinen. Näin ollen haluttaessa runsas sivutuotesaanto sahanhake ei ole toivottavin raaka-aine.

Sen sijaan kaikki ne raaka-ainelajit, jotka sisältävät runsaasti sydänpuuta, kohottavat sivutuotesaantoa. Käytännössä sydänpuupitoisuuteen vaikuttamismahdollisuudet ovat kuitenkin vähäisiä. Sitä vastoin maan eri osien välillä vallitsevat sivutuotesaantoerot selittyvät suureksi osaksi erilaisesta sydänpuupitoisuudesta: runsaasti sydänpuuta sisältävästä pohjoissuomalaisesta raaka-aineesta saadaan korkeampi sivutuotesaanto kuin niukemmin sydänpuuta sisältävästä eteläsuomalaisesta raaka-aineesta.

Merkittävin keino lisätä raaka-aineen pihkapitoisuutta on käyttää männyn kantoja. Sekä tuoreet kannot että erityisesti tervaskannot sisältävät runsaasti pihkaa, joka saadaan talteen erillisessä uuttamisessa tai sulfaattisellun teon yhteydessä. Myös käytännössä on havaittu, että hyödynnettäessä männynkantoja raaka-aineena sivutuotesaanto nousee. Ilmeistä onkin, että jos raa'an mäntyöljyn hinta kohoaa olennaisesti, kiinnostus männynkantojen käyttöön lisääntyy.

Kirjallisuuden perusteella voitiin edelleen todeta, että eri maissa on kehitetty runsaasti menetelmiä pihkan keinotekoiseksi lisäämiseksi. Erityisen menestyksekäs on ollut viime vuosina parakvaatin ja eräiden muiden sen sukuisten aineiden käyttö mäntypuiden pihkapitoisuuden lisäämisessä.

Myös käsillä olevan tutkimuksen omaan aineistoon perustuvat tulokset tukevat näkemystä, että pihkapitoisuutta saadaan olennaisesti kohotetuksi näillä aineilla. Eräillä käsittelyillä kaksimetrisen tyvipölkyn pihkapitoisuus kohosi kontrollipuihin verrattuna kolminkertaiseksi. Kun otetaan huomioon, että kaikki käytetyt käsittelyvaihtoehdot olivat erittäin varovaisia hyönteisvahinkojen välttämiseksi, tulosta on pidettävä täysin tyydyttävänä.

Ilmeistä on, että käytännössä voidaan päästä suurempaan pihkan lisääntymiseen. Vaarana ovat kuitenkin puiden fysiologisen kunnon heikentyessä syntyvät hyönteisvauriot, jolloin menetelmä saattaa saada huonon kaiun luonnonsuojelullisessa mielessä. Tämän vuoksi saattaa olla paikallaan käyttää vain verraten varovaisia käsittelyvaihtoehtoja, joiden ei ole todettu aiheuttavan hyönteistuhojen vaaraa. — Mainittakoon, että käsillä olevan tutkimuksen laajassa empiirisessä aineistossa ei voitu havaita merkkejä hyönteisvaurioista tai hyönteiskannan lisääntymisestä.

Alustavat taloudelliset laskelmat viittaavat siihen, että nykyisillä raa'an mäntyöljyn hinnoilla suhteessa selluloosasta maksettavaan hintaan puuaineen pihkoittaminen ei ole taloudellisesti mielekästä, koska kasvutappiot ovat suuremmat kuin pihkan lisääntymisestä saatu hyöty. Sitä vastoin jo tasapainotilanne, jolloin kaupallisesta selluloosasta maksetaan suunnilleen saman verran kuin raa'asta mäntyöljystä, antaa mahdollisuuden harkita pihkanlisäysmenetelmien käyttöä. Merkittävää taloudellista hyötyä on kuitenkin saatavissa vain silloin, jos sivutuotteiden hinnat kohoavat olennaisesti nykyistä korkeammalle tasolle.

Amerikkalaisiin kokemuksiin verrattuna nyt saadut tulokset pihkan lisäyksestä olivat heikot. Tärkeimpänä syynä oli puulajin lisäksi se, että käsitellyt puut olivat vähemmän elinvoimaisia, pienikokoisia alikasvospuita, joissa reagoivan puuaineen määrä oli pieni. Lisäksi ei voitu käyttää amerikkalaiseen tapaan hyönteisvaaraa aiheuttavaa parakvaattitasoa ja hyönteisvaaran torjumiseksi vastaavasti insektisidejä.

Myös nyt saatujen kokemusten mukaan pihkoittaminen on edullisimmillaan mahdollisimman suurten kuitupuurunkojen ollessa kyseessä. Jo siirtyminen 11 cm rinnankorkeusläpimittaluokasta 15 cm puihin parantaa olennaisesti pihkoittamismenetelmän taloudellista pohjaa.

Käytännössä tulokset saattavat olla parempia kuin mitä edellä on kuvattu. Laskentamalli laadittiin hyvin varovasti, jotta ei saataisi tarpeettoman optimistisia tuloksia. Niinpä oletettiin, että pihkoittumista tapahtuu ainoastaan kaksimetrisessä tyvipölkyssä, ja että tästä huolimatta aleneva kasvu ilmenee koko rungosta eikä ainoastaan tyvikappaleen alueella. Kun molemmat olettamukset saattavat olla käytännössä liian ankaria, voidaan sanoa, että käytännössä on mahdollista saavuttaa ainakin tässä tutkimuksessa todettu tulos, kolminkertainen pihkapitoisuus, mutta todennäköisesti parempi.

Kuusen osalta tulokset eivät olleet erityisen myönteisiä. Suhteellinen pihkapitoisuuden nousu oli tosin korkea, mutta parhaimmillaankin absoluuttinen pihkapitoisuus jäi alhaiseksi mäntyyn verrattuna. Kun taloudelliseen tulokseen vaikuttaa nimenomaan viimeksi mainittu, kuusen pihkoittaminen ei vaikuta ainakaan kahden ensimmäisen kasvukauden tulosten perusteella lupaavalta. Käytännössä reagointiajan pidentäminen ei auttane olennaisesti, koska tehdyistä haavoista näytti aiheutuvan runsasta lahoisuutta.

KIRJALLISUUTTA

ABE, M. & YOKOTA, T. 1953. (The tapping of H_2SO_4 treatment on yields of oleoresin). Bull. For. Exp. Sta. Meguro 62: 21—46. Ref. FA 15(2) No. 1383.

A. G. Blomqvists reseberättelser från åren 1867—1869. 1959. Silva Fenn. 100: 1—132.

ALESTALO, A. & HENTOLA, Y. 1966. Sulfaattisellua havupuiden kuorellisista latvuksista, oksista ja kannoista. Paperi ja Puu 48(12): 737—742.

AMAZOV, A. F. 1962. (The use of chemical stimulants in tapping Scots pine in Karelia). Gidrol. lesohim. Prom. 15(3): 29—30. Ref. FA 24(1) No. 558.

A naval handbook dealing with the production of pine gum or oleoresin. 1935. Misc. Publ. U.S. Dept. Agric. 209.

ANDERSON, A. B. 1946. Chemistry of western pines. Distribution and nature of acetone soluble extractives in ponderosa pine. Ind. Eng. Chem. 38(4): 450—454.

— 1949. Rosin and other extractives from ponderosa pine stumps. Paper Trade J. 129(2): 35—37.

— 1952. Producing extractive materials from living trees. U.S. Patent 2,612,000, Sept. 30, 1952. 14 s. Ref. FA 14(4) No. 3403.

— 1954. Rosin from Jeffrey pine stump wood. Tappi 37(7): 316—320.

— 1955. Extract stimulation for wood rosin production — increasing the extractive content in ponderose pine. For. Prod. J. 5(6): 417—420.

— 1956. Increasing extractive content in trees for rosin production. Extract stimulation of Jeffrey pine. Tappi 39(1): 55—59.

— 1962. The influence of extractives on tree properties. II. Ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Dougl.). J. Inst. Wood. Sci. (10): 29—47.

ANDRE, F. 1964. Kiefernharzung unter Verwendung organischer Reizmittel. Mitt. Forstl. Versuchsanst. Mariabrunn 65: 71—80.

ANTILA, M. 1964. Eräitä kokemuksia mäntyöljyn rasvahappojen käytöstä lypsylehmien ruokinnassa. Eripainos Karjataloudesta N:o 1/1964. 3 s.

ANTILA, V., KÄRKKÄINEN, V. J., RING, O. & ANTILA, M. 1963. The fatty acids of tall oil and their ethyl and glyceryl esters as fodder ingredients. Acta Agr. Scand. 13(2): 195—204.

ARRHENIUS, O. 1942. Fettmängdens variationer hos våra träd. Svensk Bot. Tidskr. 36(2—3): 95—99.

ASSARSSON, A. 1969. Hartsets förändring under vedlagring. Svensk PappTidn. 72(9): 304—311.

—, CROON, I. & FRISK, E. 1970. Outside chip storage (OCS). Svensk PappTidn. 73(16): 493—501, (17): 528—541.

AUSTERWEIL, G. & ROTH, J. 1917. Gewinnung und Verarbeitung von Harz und Harzprodukten. Verlag von R. Oldenbourg. München—Berlin. 180 s.

AVOMAA, P. 1978. Petroli-Saab syntyy vain verotuella. Talouselämä 41(19): 60—63.

BABICKI, R., KRAJEWSKI, S. & PIOTROWSKI, Z. 1969. (Investigations on the extraction of fresh Scots pine stumpwood.) Prace Inst. Tech. Drewna 15(3):(3—14). Ref. FA 30(3) No. 4967.

BAILEY, H. B., Jr. 1976. Observations on lightwood induction field experiments installed by Union camp corporation. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1976: 42—45.

BARDYŠEV, I. I. & ČUDINOV, S. V. 1960. (Properties of turpentine and rosin from Scots pine resin obtained with chemical stimulation during tapping). Lesn. Ž. 3(6): 122—126. Ref. FA 23(1) No. 1379.

BARDYSHEV, I. I., UDAROV, B. G., BULGAKOV, A. N. & KULAGIN, V. P. 1973. (Chemical composition of the turpentines from oleoresin of individual Pines collected in the normal way or once per season.) Lesn. Ž. 16(5): 118—120.

BARLOW, A. R. 1966. The relationship between resin pressure and scolytid beetle activity. For. Comm. For. Rec. 57: 1—7.

BEDENKO, V. F. 1960. (Tapping Scots pine, using H_2SO_4 paste). Gidrol. lesohim. Prom. 13(2): 20—21. Ref. FA 22(2) No. 1876.

BEERS, W. L. 1975. Industrial field tests with paraquant to induce lightwood formation. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1975: 42—46.

BENDER, F. 1967. Canada balsam. Its preparation and uses. Can. For. Branch Dep. Publ. 1182: 1—7.

BENGTSON, G. W. & SCHOPMEYER, C. S. 1959. A gum yield table for 3/4-inch, acid-treated streaks on slash pine. U.S. For. Serv. Res. Note SE-138: 1—2.

BENNETT, F. A. 1955. Wolf trees — good gum producers. Naval Stores Rev. 65(3): 8.

— 1957. Gum yield by diameter class and season for slash pines. Naval Stores Rev. 67(4): 8—9.

BERGMAN, J. 1964. Flislagring. Svensk PappTidn. 67(19): 784—789.

BERKEL, A. & HUS, S. 1952. (The resin content of stem wood from the Turkish pines, *Pinus sylvestris* and *P. pinea*). Istanbul Üniv. Orm. Fak. Derg. 2A(2): 3—18. Ref. FA 15(1) No. 697.

— & HUS, S. 1956. (Researches on resin production from *P. brutia* in Turkey). Istanbul Üniv. Orm. Fak. Derg. 6A(2): 101—158. Ref. FA 19(3) No. 3024.

BLYUMIN, G. Z., VYSOTSKII, I. V. & SINITSKIJ, V. P. 1974. (Method of carrying out fifteen-year tapping of *Pinus sylvestris*.) Avt. sv. SSSR kl. A 01 g 23/10 (1974) No. 444528. From Referativnyi Zhurnal (1976) 2.56.119. Ref. FA 38(1) No. 247.

BOKOR, R. 1950. (The intensification of resin production in Hungary.) Ann. Fac. silvat. Univ. Agric. Sopron 1(1): 319—337. Ref. FA 13(4) No. 3016.

— & LÁNYI, J. 1951. (The increase of our resin production.) Erdész. Tud. Int. Évk. 41: 20—30. Ref. FA 16(4) No. 4112.

BOSSHARD, H. H. & HUG, U. E. 1980. The anastomoses of the resin canal system in *Picea abies* (l.) Karst., *Larix decidua* Mill. and *Pinus sylvestris* L. Holz Roh- u. Werkstoff 38(9): 325—328.

BOUTELJE, J. B. 1966. On the anatomical structure, moisture content, density, shrinkage, and resin content of the wood in and around knots in Swedish pine (*Pinus silvestris* L.), and in Swedish spruce (*Picea abies* Karst.). Svensk PappTidn. 69(1): 1—10.

BROWN, C. L., CLASON, T. R. & MICHAEL, J. L. 1976. Paraquat induced changes in reserve carbohydrates, fatty acids and oleorosin content of young slash pines. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1976: 8—19.

— & NIX, L. E. 1975. Uptake and transport of paraquat in slash pine. For. Sci. 21(4:) 359—364.

BROWNING, B. L. 1967. Methods of wood chemistry. Volume I. New York-London-Sydney. Interscience Publishers. 384 s.

BRUUN, H. 1962. Barrträdskådan. Årsskrift Åbo Akad. XLV-CLVI: 37—50.

— 1965. Selluteollisuuden käyttämän männyn ja kuusen sydänpuupitoisuus. Kemian Teoll. 22(12): 919—922.

— 1967. Maamme selluloosateollisuuden havupuun runkohalkaisijasta ja iästä. Kemian Teoll. 24(1): 20—22.

— 1968. Kärnvedsförekomst i stam av gran och tall i olika delar av Finland. Julk. Radiokemiska Institutet vid Helsingfors Universitet. Moniste.

— & WILLBERG, J. 1964. The heartwood contents of pine (*Pinus silvestris*) and spruce (*Picea abies*). Paperi ja Puu 46(4a): 221—227.

CHALK, R. 1968. Wood deterioration during outside chip storage. Pulp Paper Mag. Can. 69(6): 75—85.

CHAPPEL, T. W. & HARRINGTON, T. A. 1971. Mechanized gum harvesting. Naval Stores Rev. 81(9): 4—5, 13.

CHUDNYI, A. V. 1974. (The importance of investigating the resin-duct system in Scots Pine wood in selection for resin productivity.) Genet., selektsiya, smemnovodstvo i introduktsiya les potod. Moscow. USSR. (1974, publ. 1975) 225—243. From Referativnyi Zhurnal (1975) 12.56.101. Ref. FA 37(9) No. 5644.

CLAPPER, R. B. 1954. Stimulation of pine oleoresin flow by fungus inoculation. Econ. Bot. 8(3): 269—284. Ref. FA 16(1) No. 496.

CLARK, A. & SCHROEDER, J. G. 1970. Scientists study turpentining effects on southern pine plywood grade yields. Naval Stores Rev. 80(9): 4—5.

— & SCHROEDER, J. G. 1971. Veneer yields from turpentined slash pine peeler blocks. For. Prod. J. 21(2): 53—57.

CLASON, T. R. 1977. Silvicultural implications of paraquat induced oleoresin biogenesis. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1977: 100—105.

CLEMENTS, R. W. 1964. Noncorrosive chemical produces good yield in slash pine. Naval Stores Rev. 74(8): 4—5, 7.

— 1967. Acid paste method highly succesful in commercial operations. Naval Stores Rev. 77(6): 4, 6, 9.

— 1970. Winter gum production with sulfuric acid paste. Naval Stores Rev. 80(6): 4—5.

— 1971 a. Improved acid paste now available. Naval Stores Rev. 80(11): 4—5.

— 1971 b. Short of labor? Use acid paste. Naval Stores Rev. 81(2): 10—11, 15.

— & McREYNOLDS, R. D. 1974. A motorized rossing tool for the gum naval stores industry. U.S. For. Serv. Res. Note SE-209: 1—4.

— & McREYNOLDS, R. D. 1977. A motorized, rotary chipping tool for the gum naval stores industry. U.S. For. Serv. Res. Note SE-250: 1—4.

COLLIER, T. J. 1977. Feasibility of petrochemical substitution by oleoresin. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1977: 172—187.

CONLEY, J. M., CROWEL, E. P., McMAHON, D. H. & BARKER, R. G. 1977. Increases in turpentine, rosin, and fatty acid content of slash and loblolly pines by paraquat treatment. Tappi 60(12): 114—116.

—,McMAHON, D. H., CROWELL, E. P. & BARKER, R. G. 1976. Determination of increase in turpentine, rosin and fatty acids in slash and loblolly pines as the result of paraquat treatment. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1976: 119—134.

CONNER, A. H., DIEHL, M. A., WROBLEWSKA, H. & ROWE, J. W. 1977 a. Effects of paraquat treatment of northern and western conifers. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1977: 34—56.

—,DIEHL, M. & ROWE, J. W. 1977 b. Induction of lightwood in northern and western conifers. Tappi Conference Papers 1977: 65—70.

—,DIEHL, M. A. & ROWE, J. W. 1980. Tall oil precursors and turpentine in Jack and eastern white pine. Wood Sci. 12(4): 194—200.

CRIVELLARI, D. 1956. (First results from 8 years' experiments on resin-tapping of *Pinus halepensis*). Ital. for. mont. 11(6): 245—268. Ref. FA 18(3) No. 2880.

CROON, I. 1965. Hartsmognadsutvecklingen i några flishöger — konsekvenser för sulfit- och sulfatindustrien. Svensk PappTidn. 68(10): 378—383.

CRUZ GARCIA, A. 1971. (Results of a trial in the use of H_2SO_4 in resin-tapping.) Mex. Bosques 10(3): 18—20. Ref. FA 33(2) No. 2593.

ČURČIĆ, M. 1958. (The use of stimulants in tapping *Pinus nigra* in the region of Mt. Semegnjevska, (S.E. Serbia).). Sumarstvo 11(3/4): 223—230. Ref. FA 21(1) No. 510.

DAHMAN, M. 1975. (First results of tapping trials on *Pinus halepensis* in the Sakiet Sidi Youssef region.) Note de Recherche, Institut National de Recherches Forestières, Tunisia 3: 1—26. Ref. FA 36(10) No. 6318.

DAMACEANU, C. 1970. Contributii privind practicarea organizata a rezinajului in arboretele exploatabile de molid. Zusammenfassung: Beiträge zur organisierten Harzung in Fichtenbeständen. Stud. Cerc. Inst. Cerc. For. (Silv.) 27: 515—552.

DAVID, R. 1951. (Does the chemical stimulation of resin flow impair the vigour of *Pinus pinaster*?). Bois & Resin 33: 1573—1575, 34: 1576. Ref. FA 14(3) No. 2262.

—, BENTÉJAC, R., RAOUX, H., BLIECK, W. & LAUNAY, J. 1975. (Increase of oleoresin content in the wood of *Pinus pinaster* stems treated with diquat or paraquat (to stimulate resin flow during tapping).). Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, D (1975) 281(23): 1841—1845. Ref. FA 36(10) No. 6156.

— & BLIECK, W. 1974. (Use of a new sulphuric-acid paste for tapping *Pinus pinaster*, comparison with the application of an acid solution.) Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l' Académie des Sciences, France, D (1974) 278(9): 1233—1238. Ref. FA 36(5) No. 2714.

—, BLIECK, W. & LAUNAY, J. 1970. (The use of sulphuric-acid paste to stimulate resin flow in *Pinus pinaster*: a comparison with the acid-solution method during three consecutive years.) C.R. Acad. Sci., Paris 1970 270D (15): 1905—1910. Ref. FA 32(2) No. 2544.

DEMIN, K. A. ym. 1969. (The content of resinous substances in the roots of ripe Scots pine stumps.) Gidrol. lesokhim. Prom. 22(1): 15—17. Ref. FA 30(3) No. 4966.

DREW, J. 1976 a. Paraquat treatment of slash pines at Orange park, Florida. Progress report. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1976: 135—142.

— 1976 b. Extractives of paraquat-treated trees. Wood Sci. 9(2): 84—88.

— 1977. Pine beetle attack as a result of paraquat treatment. Lightwood Res. Coord. Council. Proc. 1977: 4—11.

— & JOYCE, E. R. 1975. How lightwood formation varies with paraquat treatment, concentration and time in slash pine at Orange park. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1975: 47—50.

— & ROBERTS, D. R. 1977. Developments in paraquat treatment of trees to induce lightwood formation. For. Prod. J. 27(7): 43—47.

— & ROBERTS, D. R. 1978. Extractive enhancement in pines by paraquat treatment. For. Prod. J. 28(9): 21—26.

DUDIĆ, M. 1954. (Increasing pine resin yields by using a mixture of HCl and $CaCl_2$). Šumarstvo 7(11/12): 618—625. Ref. FA 16(3) No. 3034.

DYSKIN, B. N. & ROMANOVSKIJ, G. G. 1965. (Tapping Scots pine stands of low site class to induce the formation of resinous wood). Gidrol. lesohim. Prom. 18(7):—15—16. Ref. FA 27(3) No. 3970.

— & SINKEVIC, M. S. 1970. (Resinosis of the wood in the tapping-face zone when tapping to induce the formation of resinous wood.) Gidrol. lesokhim. Prom. 23(5): 16. Ref. FA 32(1) No. 762.

EARLE, R. H. 1975. Fate of paraquat in the conifer stimulation process. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1975: 32—39.

af EKENSTAM, A. 1930. Tallvedens förhållande vid upphettning med bisulfitlösningar. Svensk PappTidn. 33(11): 439—444, 476—480.

EKMAN, R. 1979. Analysis of the nonvolatile extractives in Norway spruce sapwood and heartwood. Acta Acad. Aboensis Ser. B. 39(4): 1—20.

—, PELTONEN, C., HIRVONEN, P., PENSAR, G. & von WEISSENBERG, K. 1979. Distribution and seasonal variation of extractives in Norway spruce. Acta Acad. Aboensis Ser. B 39(8): 1—26.

— & von WEISSERBERG, K. 1979. Sapwood extractives in Norway spruce inoculated with *Fomes annosus*. Acta Acad. Aboensis Ser. B 39(7): 1—8.

— 1973. (Study on the effect of sulphuric asid on the resin canals in the tapping of Scots pine.) Gorskostop. Nauka 10(2): 51—62. Ref. FA 35(3) No. 823.
—.1975. (Use of sulphite liquor as a stimulant in tapping Scots pine for resin.) Gorskostop. Nauka 12(6): 60—71. Ref. FA 37(10) No. 6155.
KAMINSKI, E. 1960. Metody stosowania bodzcow chemicznych przy zywicowanics. Summary: Application of irritants in tapping for resin exudation. Sylwan 104(8): 1—18.
— 1964. Badania nad stymulowaniem wycieku zywicy sosnowej za pomoca past. Zusammenfassung: Untersuchungen über die Stimulierung des Kiefernharzflusses mit Pasten. Folia For. Polon. (Lesn.) 10: 57—119.
KIATGRAJAI, P., ROWE, J. W., CONNER, A. H., PETERS, W. & ROBERTS, D. R. 1976. Attempt to induce lightwood in eastern hemlock by treating with paraquat. Wood. Sci. 8(3): 170—173.
KIDD, F. & REID, C. P. P. 1979. Stimulation of resinosis and apparent inhibition of blue stain development in ponderosa pine by paraquat. For. Sci. 25(4): 569—575.
KINASTOWSKI, S. 1959. (The influence of resin tapping on the physical and mechanical properties of Scots pine wood. (Provisional report). Sylwan 103 (6/7): 31—37. Ref. FA 21(1) No. 516.
— & SZCZEPAŃSKI, K. 1960. (Investigations on the effect of tapping on the physical and mechanical properties of Scots pine wood.) Prace Inst. Tech. Drewna 7(1): 3—144 Ref. FA 22(4) No. 4558.
KINNMAN, G. 1925. Studier rörande flytbarheten hos flottgods. SkogsvFören. Tidskr. 23: 1—36, 105—124, 145—182.
— 1926. Hur skall jag få mitt virke att flyta? Sundsvall. 36 s.
KIROV, A. M. 1969. (Effectiveness of sulphitealcohol spent liquor in tapping of Scots pine in the Central Urals.). Gidrol. lesokhim. Prom. 22(5): 25. Ref. FA 31(1) No. 731.
— 1974. (Effectiveness of resin-tapping with new stimulants in the Central Urals.). Gidrol. lesokhim. Prom. 4: 27—28. Ref. FA 36(2) No. 862.
KISHIMA, T. & HAYASHI, S. 1961. The microscopical confirmation of resin existing in Akamatsu (*Pinus densiflora* Sieb. et. Zucc.) wood (Résumé). Wood Res. (25): 38—49.
KLOOT, W. G. van der 1951. (Resin tapping of *P. merkusii* and the production of turpentine). Tectona 41(3/4): 259—285. Ref. FA 13(4) No. 3861.
KOCH, P. 1972. Utilization of the southern pines. Agric. Handb. U.S. Dep. Agric. 420: 1—1663.
KOEV, D. 1974. (Studies on the resin content of Scots pine wood). Gorskostop. Nauka 11(3): 44—49. Ref. FA 36(7) No. 4238.
KOLOSENKOVA, A. V. 1975. (The use of *Peridermium pini* as a biological stimulant in resin-tapping.) In: Probl. Onkol. i Teratol. Rastenil. Leningrad. USSR, Nauka. (1975): 180—183. From Referativnyi Zhurnal (1976): 9.56.214. Ref. FA 38(5) No. 2245.
— & MEDNIKOV, F. A. 1972. Dvojnoe stimulirovanie pri bespriemnikovom metode podsočki. Gidrol. lesohim. Prom. 25(3): 16.
KOMAROVSKIJ, V. N. 1955. (Method of continuous chemical stimulation in resin tapping.) Gidrol. lesohim. Prom. 8(7): 10—11. Ref. FA 17(3) No. 2824.
KOMISSAROV, D. A., FROLOV, Ju. A. & EGOROVA, E. A. 1968. Vlijanie himičeskih veščestv na smolovydelenie pri podsočke. Gidrol. lesohim. Prom. 21(5): 21.
KOMŠILOV, N. F., KIŠČENKO, T. I. & KJALINA, L. V. 1963. Drevesina svežih sosnovyh pnej — perspektivnoe syr'e. Bumaž. Prom. 38(7): 11—12.
— ym. 1967. (Development of tapping to induce the formation of resinous wood in Karelia.) Gidrol. lesohim. Prom. 20(2):24—26. Ref. FA 29(2) No 2348.
KONTEK, W. 1960. (The crude resin content in Scots pine stumpwood.) Prace Inst. Tech. Drewna 7(3): 3—28. Ref. FA 22(4) No. 5249.
KOSTOV, P., KALUDIN, K. & DRAGANOVA, R. 1962. Die Verkienung des Weiss- und Schwarzkiefernholzes bei der Harzgewinnung. (Zusammanfassung). Nauč. Trud. Lesoteh. Inst. Sofija. 10: 112.

HOLTON, R. W. & WINSTON, R. D. 1976. Turpentine and tall oil analyses of 8 % paraquat-treated Virginia, loblolly, and short-leaf pines in the Tennessee valley. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1976: 77—80.

HOSIA, M., LINDHOLM, C.-A., TOIVANEN, P. & NEVALAINEN, K. 1971. Undersökningen rörande utnyttjandet av barrträdsgrenar som råmaterial för kemisk massa och hård fiberskiva. I. Paperi ja Puu 53(2): 49—66.

HURLEY, D. W., ANDREWS, R. S., Jr., PARKER, J. A. & SCHMID, J. J. 1977. Pulping and by-product yields of slash pine at 7, 12, 18, and 24 months after paraquat treatment. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1977: 138—140.

ISOMÄKI, A. & KALLIO, T. 1974. Consequences of injury caused by timber harvesting machines on the growth and decay of spruce (*Picea abies* (L.). Karst.). Seloste: Puunkorjuun aiheuttamien vaurioiden vaikutus kuusen lahoamiseen ja kasvuun. Acta For. Fenn. 136: 1—25.

ISOTALO, I. & VIRKOLA, N.-E. 1964. Oy Keskuslaboratorio Ab:n seloste. Julkaisematon. Unpublished.

IVERMARK, R. & JANSSON, H. 1970. Utvinning av råtallolja vid sulfatcellulosafabriker. Svensk PappTidn. 73(4): 97—102, (5): 135—140, (6): 175—179, (7): 215—220.

JAYME, G. & BLISCHNOK, B. 1938. Über die chemische Zusammensetzung der verschiedener Anteile des Kiefernholzes. Holz Roh- u. Werkstoff 1(14): 538—543.

JOYCE, E. R., PETERS, W. J. & ROBERTS, D. R. 1977. Final report on cooperative Orange park. Florida paraquat study. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1977: 65—70.

KABAEV, V. I. 1971. (Natural resin yield of Scots pine in mixed stands and low-density stands.). Gidrol. lesokhim. Prom. 24(4): 15—16.

KAHILA, S. K. 1957. The composition of the gum oleorosin acids of *Picea excelsa*. Paperi ja Puu 39(1): 7—8.

— 1964. The influence of the storage conditions of pine wood upon the quality and quantity of the chemical products obtained on sulphate cooking. Paperi ja Puu 46(4a): 265—286.

— 1971. Raa'an mäntyöljyn saanto, laatu ja koostumus. Kemian Teoll. 28(10): 745—756.

KALELA, E. K. 1946. Pihkomiskokeita pohjoisissa männiköissä. Referat: Harzgewinnungsversuche in nordischen Kiefernwaldungen. Acta For. Fenn. 52(3): 1—39.

KALLA, J. 1966. Mäntypinotavaran kulutus valkaisemattoman sulfaattiselluloosan valmistuksessa Pohjois- ja Etelä-Suomessa. Metsät. Aikakausl. 83(3): 149—160.

KALNINJŠ, A. I. 1953. (Experiments with chemical stimulation in pine and spruce tapping in Latvia). Trud. Inst. lesohoz. Probl. 6: 19—28. Ref. FA 15(4) No. 3595.

—, RASIN'Š, P. P. & CAKARS, E. Ja. 1963. Effektivnost' voshodjaščego metoda podsočki okyknovennoj sosny (*Pinus silvestris* L.) v. zavisimosti ot koncentracii sernoj kisloty, primenjaemoj v. kačestve stimuljatora smolovydegelenija. Summary: Effectivity of ascending method of pine (*Pinus silvestris* L.) turpentining depending on concentration of sulphuric acid used for stimulating gum exudation. Povyšenie produktivnosti lesa (1963): 59—74.

KALNINS, A. & ZANDERSON, J. 1961. (Resin content of sapwood of tapped Scots pine). Latv, PSR Zināt Akad. Vēstis (6): 143—152. Ref. FA 24(2) No. 2742.

KALNINSCH, A. 1930. Die technischen Eigenschaften der Hölzer Lettlands. Verhandlungen des Internationalen Kongresses forstlicher Versuchsanstalten, Stockholm 1929, s. 254—264.

KALNIN'Š, A., RASIN'Š, P. & ZANDERSON, Ja. 1962. (The mechanism of resin exudation when tapping Scots pine with H_2SO_4). Latv. PSR Zināt. Akad. Vēstis (11): 107—117. Ref. FA 24(3) No. 3705.

KALUDIN, K. 1970. (Fluctuations in resin flow with the chemical method of resin-tapping.) Gorskostop. Nauka 7(4): 53—68. Ref. FA 32(2) No. 2548.

— 1972. (Studies on the use of H_2SO_4 paste in tapping Scots pine for resin.) Gorskostop. Nauka 9(3): 51—60. Ref. FA 34(5) No. 2880.

GÖTZE, H. & STEPHAN, G. 1964. Zusammenfassung der Ergebnisse einer Untersuchung ueber den Einfluss der Reizmittelharzung (Schwefelsaeure) auf die Holzeigenschaften von Kiefernholz (*Pinus silvestris* L.). Folia For. Polon. (Lesn.) 10: 47—55.

HAKKILA, P. 1967. Puun laadun vaikutuksesta mäntysulfaattisellua valmistettaessa. Paperi ja Puu 49(7): 461—464.

— 1968 a. Branches as raw material for chemical pulp. FAO/ECE/LOG/194: 1—8.

— 1968 b. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. Lyhennelmä: Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 66(8): 1—60.

— 1971. Coniferous branches as a raw material source. Tiivistelmä: Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. Commun. Inst. For. Fenn. 75(1): 1—60.

— 1972. Mechanized harvesting of stumps and roots. Lyhennelmä: Kanto- ja juuripuun koneellinen korjuu. Commun. Inst. For. Fenn. 77(1): 1—71.

— 1975. Kanto- ja juuripuun kuoriprosentti, puuaineen tiheys ja asetoniuutteitten määrä. Summary: Bark percentage, basic density, and amount of acetone extractives in stump and root wood. Folia For. 224: 1—14.

— & MÄKELÄ, M. 1973. Harvesting of stump and root wood by the Pallari stumparvester. Lyhennelmä: Kanto- ja juuripuun korjuu Pallarin kantoharvesterilla. Commun. Inst. For. Fenn. 77(5): 1—57.

— & PALENIUS, I. 1971. Vihreä hake massateollisuuden raaka-aineena. Paperi ja Puu 53(11): 645—651.

— & WINTER, A. 1973. On the properties of larch wood in Finland. Lyhennelmä: Suomessa kasvatetun lehtikuusipuun ominaisuuksista. Commun. Inst. For. Fenn. 79(7): 1—45.

HARRINGTON, T. A. 1964. New research in gum extraction methods at naval stores & timber production lab. Naval Stores Rev. 74(2): 6—7, 16.

HARRIS, J. M. 1970. Breeding to improve wood quality. Unasylva 24(2—3): 32—36.

HASTINGS, F. L., JONES, A. S. & KISLOW, C. J. 1977. Outlook for new insecticides for bark beetle control. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1977: 25—32.

HEISKANEN, V. 1970. Puun rakenne ja ominaisuudet. Teoksessa: VÖRY, J. Metsänkäyttöoppi I, s. 11—72. Rauma.

HELANDER, A. B. 1919. Pihkanjuoksutuksesta Liettuassa, Puolassa ja Saksassa tehtyjen havaintojen mukaan. Suomen Metsänhoitoyhdistyksen Erikoistutkimuksia 11: 1—35.

HENGST, E. & GÜNTHER, O. 1965. Zuwachsbeobachtungen in geharzten Kiefernbeständen. Arch. Forstw. 14(2): 149—167.

HEPTING, G. H. 1954. Gum flow and pitch-soak in Virginia pine following *Fusarium* inoculation. Sta. Pap. Stheast. For. Exp. Sta. No. 40: 1—9. Ref. FA 16(1) No. 495.

HERTEL, G. D. & WILLIAMS, I. L. 1975. Impact and control of insects on slash pines treated with paraquat to induce lightwood formation — a progress report. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1975: 51—57.

—, WILLIAMS, I. L. & MERKEL, E. P. 1977. Insect attacks on and mortality of slash and longleaf pines treated with paraquat to induce lightwood formation. U.S. For. Serv. Res. Pap. SE-169: 1—13.

HERTZ, M. 1930. Tutkimus männyn tervasroson kehityksestä ja vaikutuksesta. Referat: Über die Entwicklung und die Wirkungen des Kienzopfs. Commun. Inst. For. Fenn. 15: 1—46.

HOLLIMAN, P. B. 1954. New chemical stimulant for gum naval stores production. Naval Stores Rev. 64(6): 14. Ref. FA 16(2) No. 1782.

HOLMBOM, B. & AVELA, E. 1971 a. Studies on tall oil from pine and birch. I Composition of fatty and resin acids in sulfate soaps and in crude tall oils. Acta Acad. Aboensis Ser. B 31(13): 1—14.

— & AVELA, E. 1971 b. Studies on tall oil from pine and birch. II Unsaponifiable constituents in sulfate soaps and in crude tall oils. Acta Acad. Aboensis Ser. B 31(16): 1—18.

ENČEV, E. & KOSTOV, P. 1959. (The influence of resin tapping on the physical and mechanical properties of *Pinus sylvestris* and *P. nigra*). Nauč. Trud. Lesoteh. Inst. Sofija 7: 221—235. Ref. FA 21(4) No. 4419.

ENEROTH, O. 1922. Vedens byggnad. Teoksessa: EKMAN, W. ym. (toim.). Handbok i skogsteknologi, s. 5—34. Stockholm.

FAHN, A. & ZAMSKI, E. 1970. The influence of pressure, wind, wounding and growth substances on the rate of resin duct formation in *Pinus halepensis* wood. Israel J. Bot. 19(2/3): 429—446.

FEIST, W. C., SPRINGER, E. L. & HAJNY, G. J. 1971. Viability of parenchyma cells in stored green wood. Tappi 54(8): 1140—1142.

—, SPRINGER, E. L. & HAJNY, G. J. 1973. Spontaneous heating in piled wood chips-contribution of bacteria. Tappi 56(4): 148—151.

FLOTYŃSKI, J. 1960. (Results of using 45 % H_2SO_4 in tapping Scots pine.) Sylwan 104(2): 41—56. Ref. FA 21(4) No. 4417.

FRANKLIN, E. C., TARAS, M. A. & VOLKMAN, D. A. 1970. Genetic gains in yields of oleoresin, wood extractives and tall oil. Tappi 53(12): 2302—2304.

FREMER, K-E. 1967. Kuoren anatominen rakenne ja kemiallinen koostumus. Teoksessa: Jensen, W. Puukemia, s. B7 1—18. Helsinki, Julk. Suomen paperi-insinöörien yhdistys.

FROLOV, YU.A., PODOL'SKAYA, V. A. & EGOROVA, E. A. 1975 a. (Effect of resin tapping with chemical stimulation on the current increment of Scots pine.) Lesn. Hoz. 5: 39—41. Ref. FA 37(5) No. 2916.

—, PODOL'SKAYA, V. A. & EGOROVA, E. A. 1975 b. (Influence of long-term tapping on the current increment of *Pinus sylvestris*.) Sb. nauch. tr. Leningr. NII les. kh-va (1975) No. 22, 47—52. From Referativnyi Zhurnal (1976) 1.56.104. Ref. FA 38(1) No. 248.

—, PODOL'SKAYA, V. A. & EGOROVA, E. A. 1975 c. (A stimulant of resin exudation in the tapping of *Pinus sylvestris*). Avt. sv. SSSR kl. A 01 g 23/10 (1975). No. 445398. From Referativnyi Zhurnal (1976) 2.56.120. Ref. FA 38(1) No. 246.

— & VASIL'EV, O. A. 1974. (Procedure for tapping Scots pine). Avt. sv. SSSR. Kl. A 01 g 23/10 (1974) No. 434916 From Referativnyi Zhurnal (1975) 8.56.160. Ref. FA 37(5) No. 2917.

GANSEL, C. R. 1972. The high-gum-yielders are here. Forest Farmer 31(4): 8—9, 16—17. Ref. FA 34(12) No. 6992.

GAVRILOV, B. I. 1952. (Effect of resin tapping on increment). Lesn. Hoz. 5(7): 40—44. Ref. FA 16(3) No. 3037.

GIORDANO, G. 1959. (The effect of resin-tapping on the wood properties of *P. pinea*.) Ann. Accad. Ital. Sci. For. 8: 147—163.

GODDARD, R. E. & PETERS, W. J. 1965. Progress in the selection and breeding of superior trees to upgrade gum yield. Naval Stores Rev. 74(11): 4—5, 13, 15.

GOMES, A. M. de AZEVEDO. 1954. (The influence of resin tapping on increment of *Pinus pinaster*. I. Diameter increment.) Estud. Inform. Serv. flor. aqüic. Portugal No. 43-E 3, 1954. Limited distribution. Ref. FA 16(4) No. 4113.

GRIPENBERG, J. 1967. Puun uuteaineet. Teoksessa: Jensen, W. Puukemia, s. B6 1—6. Helsinki. Julk. Suomen paperi-insinöörien yhdistys.

GROCHOWSKI, W. 1951. (Characteristics of the flow of pine resin). Prace Inst. Bad. Lesn. 72: 1—152. Ref. FA 13(4) No. 3866.

— 1967. Untersuchungen zur Verwendung eines neuen Reizmittels bei der Harzung. XIV. IUFRO-Kongress, München, Papers VIII: 642—652.

GURICH, N. A. ym. 1961. (Pine stumpwood as a valuable raw material). Transl. Dep. Fish. For. Can. No. OOFF-80, 1969. Translated from Bumaz. Prom. 1961 (10), (16). Ref. FA 32(1) No. 806.

GÖHRE, K. 1956. Der Einfluss der Harzgewinnung auf den Zuwachs, die mechanisch-technologischen Eigenschaften und die Dauerhaftigkeit des Kiefernholzes. Arch. Forstw. 5(11/12): 836—871.

KRUMM, X. 1980. Durchsetzung besonders guter Erfahrungen der Besten in der Arbeitsorganisation zur Verringerung ungerechtfertigter Leistungsdifferenzierung im StFB Frankfurt/Oder, dargestellt am Beispiel der Harzung. Sozial. Forstw. 30(6): 180—182.

KRYLOV, N. I. & SHICHEV, V. N. 1974 a. (A new hack for resin-tapping with sulphite-yeast mash.) Gidrol. lesokhim. Prom. (4): 28—30. Ref. FA 35(12) No. 7597.

— & SHICHEV, V. N. 1974 b. (A new hack for resin-tapping with H_2SO_4, polymer paste.) Gidrol. lesokhim. Prom. (5): 30—31. Ref. FA 36(3) No. 1502.

KUBLUN, H. 1936. Kiefernharznutzung mit chemischen Reizmitteln. Verlag J. Neumann. Neudamm. 64 s.

KULAKOV, V. E. 1972. (Effect of resin-tapping on the increment of *Pinus sibirica*.) Tr. Biol. in-ta Sib.otd. AN SSSR (1972) (15): 133—139. From Referativnyi Zhurnal (1973) 4.56.163. Ref. FA 34(11) No. 6352.

KURTH, E. F. & SHERRARD, E. C. 1931. Distribution of ether extractive in slash pine. Ind. Eng. Chem. 23(10): 1156—1159.

KUYLENSTIERNA, F. 1967. Varför blir det kärnved? Skogen 54(11): 312—313.

KÄRKKÄINEN, M. 1972. Kuusen ja männyn sydänpuuosuudesta. Summary: On the proportion of heartwood in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Scots pine (*Pinus silvestris* L.). Silva Fenn. 6(3): 193—208.

— 1973. Mäntyrunkojen ydinsäteiden määrä ja koko. Summary: Amount and size of rays in pine stems. Silva Fenn. 7(2): 69—95.

— 1975. Kantojen käytön kehittyminen Suomessa. Summary: Development of stump utilization in Finland. Silva Fenn. 9(4): 284—302.

— 1976. Havutukkien painomittauksen edellytyksiä puutieteelliseltä kannalta. Summary: Wood science prerequisites for the weight measurement of pine and spruce logs. Commun. Inst. For. Fenn. 89(1): 1—59.

LANDRY, G. C. 1977. Review of experiences with paraquat treated slash pine trees. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1977: 141—147.

LAPPI-SEPPÄLÄ, M. 1927. Tutkimuksia siperialaisen lehtikuusen kasvusta Suomessa. Referat: Untersuchungen über den Zuwachs der sibirischen Lärche in Finnland. Commun. Inst. For. Fenn. 12: 1—72.

— 1952. Männyn sydänpuusta ja runkomuodosta. Referat: Über Verkernung und Stammform der Kiefer. Commun. Inst. For. Fenn. 40(25): 1—27.

LARINKARI, G. 1947. Om tallvedens kemiska sammansättning. Helsingfors. 90 s.

LASSILA, I. (ei painov.). Tervan ja tärpätin valmistus. Julk. Keskusmetsäseura Tapio. 128 s.

LAUNDRIE, J. F. & ZINKEL, D. F. 1975. Yield and quality of kraft pulp and naval stores byproducts from artificially lightered slash pine. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1975: 102—117.

LAUROW, Z. 1973. Ksztaltowanie sie niektorych wskaznikow jakości technicznej drewna sosny pospolitej zywicowanej chemicznie. Summary: Course of some indices of technical quality of the wood of Scots pines tapped with the aid of a chemical technique. Sylwan 117(7): 35—44.

LAZDA, Ė. Ė. 1971. (Effect of gamma radiation on the content of resinous substances in wood of *Pinus sylvestris*). Khim. Drev. (9): 53—56. Ref. FA 33(4) No. 6895.

— & ODINCOV, P. N. 1967. (Effect of γ-rays on the anatomical structure and physiological condition of resin canals in Scots pine.) Latv. PSR Zināt. Akad. Vēstis (1): 36—44. Ref. FA 29(4) No 6291.

— & ODINCOV, P. N. 1968. (Anatomical structure of the resin canals and primary rays of Scots pine, formed with irradiation of the cambium.) Latv. PSR Zināt. Akad. Vēstis (10): 84—92. Ref. FA 30 (4) No. 6381.

— & ODINCOV, P. N. 1969. (Physiological features of living cells of Scots pine wood formed by irradiated cambium.) Latv. PSR Zināt. Akad. Vēstis (9): 61—71. Ref. FA 32(4) No. 6785.

LEHTO, R. 1954. Etelä-Suomen männyn sydänpuun määrästä ja sen merkityksestä. Metsänhoitotieteen pro gradu -työ Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksella. 91 s.

LEVITIN, N. 1967. Review of effect of chip storage on wood resins and pulps. Pulp Paper Mag. Canad. 68(9):T 454—460.

LIANG, J.-H. & LIU, C.-W. 1955. (Experiments on the stimulation of resin with saturated $Ca(OH)_2$ 20 % HCl, 0,05 and 0,10 % 2,4-D, and Fruitone, Rootone, and Transplantone.) Bull. Taiwan For. Res. Inst. 42: 1—11. Ref. FA 20(11) No. 537.

LINDGREN, B. & NORIN, T. 1969. Hartsets kemi. Svensk PappTidn. 72(5): 143—153.

LITVAK, P. V. 1972. (The content of the main organic substances in the wood of *Pinus sylvestris*.) Lesn. Ž. 15(5): 21—24. Ref. FA 34(10) No. 6928.

LOYCKE, H. J. 1938. Die Harzung der Kiefer mit chemischen Reizmitteln in der grossbetrieblichen Praxis. Forstarchiv 14(16): 269—286.

— 1951. Forst- und Holzgerechte Harzung der Kiefer. Mainz. 51 s.

LUOTONEN, J. 1980 a. Jalostus vahvistaa tislaajia. Talouselämä 43(6): 22—27.

— 1980 b. Mäntyöljyvillitys. Talouselämä 43(16): 91.

LYR, H. 1967. Über den jahreszeitlichen Verlauf des Schutzkernbildung bei *Pinus silvestris* nach Verwendungen. Arch. Forstw. 16(1): 51—57.

MAKKONEN, H. 1967. Oy Keskuslaboratorio Ab:n seloste. Julkaisematon. Unpublished.

MARTON, J. 1975. Two aspects of paraquat induced lightwood research at Westvaco. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1975: 85—93.

— & MARTON, T. 1976. Six month's response after mild paraquat treatment of loblolly pine. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1976: 110—117.

Massan diklormetaaniuute. 1962. Paperi ja Puu 44(4) 275—280.

MAYR, H. 1894. Das Harz der Nadelhölzer, seine Entstehung, Verteilung, Bedeutung und Gewinnung. Verlag von Julius Springer. Berlin. 96 s.

MEDNIKOV, F. A. & MALEVA, I. L. 1965. (Accelerated method of producing resinous wood.) Gidrol. lesokhim. Prom. 18(5): 18—20. Ref. FA 27(3) No. 3969.

MERGEN, F. 1954. Inheritance of oleoresin yield in slash pine. Naval Stores Rev. 64(9): 8—9, 20.

MEŠTROVIĆ, R. 1954. (Resin-tapping in the karst areas.) Šum. List 78 (2/3): 75—82. Ref. FA 16(1) No 490.

Method of chemically inducing lightwood formation in pine trees. 1974. U.S. Patent 3, 839, 823, 5 s.

Method of treating trees and means for carrying out this method. 1961. U.S. Patent 2, 970, 404. 3 s.

MILLER, R. L. & ROTHROCK, C. W. 1975. Lightwood pulping tests at St. Regis. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1975: 126—143.

MINIUTTI, V. P. 1977. Microscopic observations of paraquat-induced light-wood in slash pine. Wood Sci. 9(3):113—117.

MISHUKOV, N. P. & KULAKOV, V. E. 1970. (Individual variation in *Pinus sibirica* as regards resin yield.) Izv. Sib. Otd. AN SSSR 1970(10) (Ser. Biol. Nauk No. 2), (62—6). From abstr. in Referat Zh. 1971 (4.56.88). Ref. FA 33(2) No. 2598.

MOORE, G. E. 1977. BHC, Dowco 214, and Dursban protect paraquat-treated trees from bark beetles. Lightwood Res. Coord. Council. Proc. 1977: 20—24.

»Motorized chipper» goes to market». 1961. Naval Stores Rev. 71(9): 5.

MÜNCH, E. 1919. Naturwissenschaftliche Grundlagen der Kiefernharznutzung. Arbeiten Biol. Reichsanst. Land- u. Forstwirtschaft 10(1): 1—140.

MURTO, J. O. 1951. Mäntypuumme pihka voiteluöljyn raaka-aineena. Puunkäyttöopillinen tutkimus. Summary: Finnish pine resin as raw material for lubricating oil. Acta For. Fenn. 59(2): 1—297.

MUTTON, D. B. 1962. Wood resins. Teoksessa: Hillis, W. E. (toim.) Wood extractives, s. 331—363. New York—London. Academic Press.

NICHOLLS, J. W. P. 1965. Heritability of heartwood formation in *Pinus radiata* D.Don. Nature 207(4994): 320.

NIKOLIĆ, S. 1957. (Resin-tapping of *Pinus nigra*, using stimulants.) Šumarstvo 10(9/10): 612—619. Ref. FA 19(3) No. 3025.

NILOANICH, S., & PREMRASAMI, T. 1959. Effect of chemical stimulation on gum flow of *Pinus khasya* and *Pinus merkusii* in Thailand. Proceedings of the 8th Pacific Science Congress, Manila 1953 Vol. 5, 1959 (367—78). From abstr. in Chem. Abstr. 54(29), 1960 (21589). Ref. FA 22(2) No. 1878.

NILPHANIJ, S. 1953. (An experiment on increasing yield of turpentine from local pine trees by acid treatment.) Vanasarn 11(4): 29—40. Ref. FA 17(2) No. 1613.

NIX, L. E. 1976. Paraquat induction of resin soaking in pines in the South Carolina piedmont. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1976: 102—108.

— 1977. Seasonal aspects of the response of slash, loblolly, and shortleaf pines to paraquat. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1977: 84—89.

NORDIN, B. & SELLEBY, L. 1965. The effect of outside chip storage on the tall oil yield. Svensk PappTidn 68(1): 1—6.

NOVOSELOV, Yu. M., SANNIKOV, Yu. G. & LITVINOV, V. P. 1976. (Resinous stemwood, a valuable raw material.) Lesn. Prom. (12): 7—8. Ref. FA 38(9) No. 5079.

NYLINDER, P. 1951. Om patologiska hartskanaler. Summary: On pathological resin canals. Medd. Stat. SkogsforsknInst. 40(7): 1—12.

— 1959. Synpunkter på produktionens kvalitet. Summary: A study on quality production. Upps. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 2: 1—19.

— 1961. Om träd- och vedegenskapers inverkan på råvolymvikt och flytbarhet. I. Tall. Summary: Influence of tree features and wood properties on basic density and buoyancy. I. Scots pine (*Pinus silvestris*). Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 35: 1—62.

OLLINMAA, P. J. 1959. Reaktiopuututkimuksia. Summary: Study on reaction wood. Acta For. Fenn. 72(1): 1—54.

ORLOV, I. I. 1956. (A Scots pine tree with an exceptionally high resin yield.) Gidrol. lesohim. Prom. 9(4): 14. Ref. FA 18(3): No. 2882.

OSTROM, C. E., TRUE, R. P. & SCHOPMEYER, C. S. 1958. Role of chemical treatment in stimulating resin flow. For. Sci. 4(4): 296—306.

PAJARI, K. 1942. Untersuchungen über die Kiefernrinde und das Rindenöl. Akademische Abhandlung. Ann. Acad. Sci. Fenniae Ser. A 59(6): 1—160.

PARAMONOV, E. G. 1970. (The effect of tapping intensity on the seed production and seed quality of Scots pine.) Lesn. Ž 13(1): 167—170. Ref. FA 32(1) No. 759.

— 1971. (Effect of resin-tapping on the fruiting of *Pinus sylvestris*.) Lesn. Hoz. (5): 31—32. Ref. FA 33(1) No. 733.

— 1975. (Preservation of the sowing qualities of Scots pine seeds in relation to prolonged resin-tapping.) Lesn. Ž. (5): 153—157. Ref. FA 37(11) No. 6685.

PARDOS CARRION, J. A. 1974. (Physiological and anatomical aspects of the action of $H_2S^{35}O_4$, applied as a liquid or as a paste, on tapping *Pinus pinaster* for resin.) Anales, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Recursos Naturales (1): 253—286. Ref. FA 37(6) No. 3794.

PEJOSKI, B. 1959. (Technological changes in wood of tapped *P. nigra* stems from the limestone regions of Poreče (Macedonia).). God. Zborn. Zemj.-Šum. Fak. Univ. Skopje (Šum.) No. 12. 1958/1959 (1959): 67—99. Ref. FA 22(2) No. 1874.

— 1960. (Studies of resin-tapping using stimulants on *Pinus nigra* at Poreče.) God.Zborn. Zemj.-Šum. Fak. Univ. Skopje (Šum.) No. 13, 1959/1960 (1960): 119—166. Ref. FA 22(2) No. 2071.

PENSAR, G. 1967 a. Mikrometod för undersökning av extrakt av strukturelement i ved. Vår- och sommarved av tall (*Pinus silvestris*). Acta Acad. Aboensis Ser. B 26(10): 1—14.

— 1967 b. Fördelning och sammansättning av extraktämnen i ved. 1. Eterextrakt av vår- och sommarvedsvävnad i gran (*Picea abies*). Abstract: The distribution and composition of extractives in wood. 1. Etherextractives of earlywood and latewood in spruce (*Picea abies*). Acta Acad. Aboensis Ser. B 27(5): 1—31.

— 1968. Fördelning och sammansättning av extraktämnen i ved. 2. Eterextrakt av vår- och sommarvedsvävnad i tall (*Pinus silvestris*). Summary: The distribution and composition of extractives in wood. 2. Etherextractives of earlywood and latewood in pine (*Pinus silvestris*). Acta Acad. Aboensis Ser. B 28(1): 1—33.

— 1977. Puun uuteaineet. Teoksessa: JENSEN, W. Puukemia. Toinen uudistettu painos. s. 186—213. Suomen Paperi-insinöörien yhdistys. Helsinki.

PERKITNY, T. & KRYCZKO, M. 1949. Wplyw zywicowania na podatnose surowca sosnowego do wyrobu sklejek. Summary: Influence of resin-boxing upon the value of pine timber for plywood production. Sylwan 93(3—4): 94—105.

PETERS, W. J. & ROBERTS, D. R. 1978. Lightwood formation in pond pine from paraquat treatment. U.S. For. Serv. Res. Note SE-265: 1—6.

PILARSKI, J. & FLOTYŃSKI, J. 1963. (H_2SO_4 for intensive chemical resin tapping — in liquid or in kaolin-paste form?) Sylwan 107(4): 35—42. Ref. FA 25(3) No. 3562.

PILZ, 1907. Einiges über die Verkernung der Kiefer. Allg. Forst- u. Jagdztg. (Aug.): 265—272.

Pine trees may help solve energy crisis. 1975. Tappi 58(12): 13—14.

PITKÄNEN, T. 1978. Yhteenveto Joutseno-Pulp Osakeyhtiön tekemistä pihkoitustutkimuksista. Joutseno-Pulp Osakeyhtiö. Moniste. 5 s.

POHJAKALLIO, O. 1963. Kasvipatologia II. Tarttuvat kasvitaudit. WSOY. Porvoo—Helsinki. 375 s.

PROKAZIN, E. P. 1961. (Creation of stands of trees with high resin yield, for tapping.) Gidrol. lesohim. Prom. 14(7): 17—18. Ref. FA 23(3) No. 3190.

RADIMIR, D. 1952. (Resin-tapping with stimulating agents.) Šum. List 76 (1/3): 42—50. Ref. FA 14(3) No. 2261.

RAJKHOWA, S. & KHAN, M. A. W. 1962. Use of chemical stimulants in tapping resin from *Pinus Roxburghii*. Indian For. 88(3): 188—201.

RANUA, J. 1975. Increasing pitch content of pine by herbicide treatment. Paperi ja Puu 57(9): 597—599.

—, KAHILA, S. K. & ERAVUO, K. 1976. Raa'an mäntyöljyn saannon ja laadun parantaminen. Oy Keskuslaboratorio Ab:n Seloste 1250:1—142. Julkaisematon — Unpublished.

ROBERTS, D. R. 1972. Practical progress in mechanization, gum collection. Naval Stores Rev. 82(3): 11, 18.

— 1973. Inducing lightwood in pine trees by paraquat treatment. U.S. For. Serv. Southeast. For. Exp. Sta. Res. Note SE-191: 1—4.

— 1975. Lightwood induction in loblolly pine with paraquat treatment. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1975: 58—62.

— 1976. Treatment of slash pines with 12- and 24- percent paraquat. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1976: 81—87.

ROGALINSKI, K. & FLOTYNSKI, J. 1961. Wplyw stezenia kwasu siarkowego dozowanego w postoci pasty kaolinowej na wydajnosc zywiczna drzewostanu sosnowego. Summary: The effect of concentration of sulphuric acid applied in form of kaolin paste upon the resin yield of a pine stand. Sylwan 105(4): 77—82.

ROMANOVSKIJ, G. G. & BESTEMJANNIKOV, Ju.V. 1968. (Effect of stem diameter on resin yield when tapping with H_2SO_4.) Gidrol lesohim. Prom. 21(8): 12—13. Ref. FA 30(3) No. 4011.

ROWE, J. W., CONNER, A. H., DIEHL, M. A. & WROBLEWSKA, H. 1976. Effects of treating northern and western conifers with paraquat. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1976: 66—76.

RUPAJS, E. A. & KALNINS, A. I. 1964. (Possibilities of artificially inducing resinosis of the stump portion of growing pines). Teoksessa: Himičeskaja pererabotka i zaščita drevesiny. Izdatelstvo Akademii Nauk Latvijskoj SSR, Riga. s. 183—188. Ref. FA 27(1) No. 701.

RYABOV, V. P., SERGEEV, M. P. & MANAKOV, V. A. 1974. (Method of tapping conifers.) Avt. sv. SSSR kl. A 01 g 23/10 (1974) No. 434917. From Referativnyi Zhurnal (1976) 2.56.118. Ref. FA 38(1) No. 245.

SACHS, I. B. 1978. Paraquat-induced lightwood in red pine observed by scanning electron microscopy. Scan. El. Micr. 2: 217—222.

SANDBERG, K. R., HERRICK, F. W. & SELDERS, A. A. 1977. Paraquat treatment of northwest conifers for lightwood induction. Wood Sci. 10(1): 28—30.

SANDERMANN, W. 1960. Naturharze, Terpentinöl. Tallöl. Chemie und Technologie. Springer Verlag. Berlin—Göttingen—Heidelberg. 483 s.

— 1974. Gewinnung und Verwertung von Silvichemikalien aus Kiefernarten. Holz Roh- u. Werkstoff 32(9): 353—366.

SANNIKOV, Ju. G., NOVOSELOV, Ju. M. & BAGAEV, V. A. 1976. Poteri pnevoj drevesiny pri pospevanii osmola. Lesn. Hoz. (9): 56—57.

SCHEUBLE, R. 1956. Über Kiefernharzung. Mitt. Forstl. Versuchsanst. Mariabrunn 52: 3—43.

SCHILLINGS, P. L. & SANDERS, D. W. 1975. Hand-held and tractormounted power tools for treating pines with paraquat. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1975: 63—65.

SCHMIDT, A. 1980. Neuererkollektiv entwickelte rationelle Methode der Lärchenharzgewinnung. Sozial. Forstw. 30(6): 183—184.

SCHMIED, H. 1939. Ein Harzungsversuch mittels chemischer Reizmittel an der Schwarzkiefer. Cbl. Ges. Forstw. 65(7/8): 161—190.

SCHOPMEYER, C. S. 1953. The characteristics of a high-gum-yielding tree. Naval Stores Rev. 63(12): 12—13.

— 1955 a. Effects of turpentining on growth of slash pine: first-year results. For. Sci. 1(2): 82—87.

— 1955 b. Gum yield and wood volume on single-faced naval stores trees. Sth. Lumberm. 191(2393): 123—124. Ref. FA 17(3) No. 2827.

— & LARSON, P. R. 1954. Predicting yields of gum from measurements of trees. Naval Stores Rev. 64(7): 10—11, 17. Ref. FA 16(2) No. 1784.

— & LARSON, P. R. 1955. Effects of diameter, crown ratio, and growth rate on gum yields of slash and longleaf pine. J. For. 53(11): 822—826.

— & MALOY, O. C. 1960. Dry face of naval stores pines. U.S. For. Serv. For. Pest Leafl. 51: 1—7.

—, MERGEN, F. & EVANS, T. C. 1954. Applicability of Poiseuille's law to exudation of oleoresin from wounds on slash pine. Plant Physiol. 29(1): 82—87. Ref. FA 16(1) No. 493.

SCHREINER, E. J. 1958. Possibilities for genetic improvement in the utilization potentials of forest trees. Silvae Genet. 7(4): 122—128.

SCHWAPPACH, 1892. Beiträge zur Kenntnis der Qualität des Kiefernholzes. Z. Forst- u. Jagdwesen 24: 71—88.

SCHWARZ, O. J., LING. C, & CROUCH, S. 1977. Transport and cytochemical action of paraquat in loblolly pine. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1977: 106—111.

— & WINSTON, R. 1976. Growth effects of paraquat on three species of southern pine. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1976: 26—30.

SEPPÄNEN, R. & ANTILA, M. 1963. Mäntyöljyn rasvahapoista ja niiden käytöstä rehuna ja ravintona. Suomen Kemistil. A 36: 89—92.

SHAIN, L. 1967. Resistance of sapwood in stems of loblolly pine to infection by *Fomes annosus*. Phytopathology 57(10): 1034—1045.

SINELOBOV, M. A. ym. 1956. (A new method of tapping (Pine) with the use of chemicals.) Gidrol. lesohim. Prom. 9(1): 15—17. Ref. FA 18(3) No. 2885.

SIOUMIS, A. A. & LAU, L. S. 1976. Paraquat-induced resinosis in *Pinus radiata*. Part I. The effect of paraquat on *P. radiata*. Appita 29(4): 272—275.

SIRVIÖ, S., VAARTAJA, O. & VUORISALO, E. 1938. Tervasroson vaikutus mäntypuun pihkapitoisuuteen. Metsäteknologian laudaturtyö Helsingin yliopiston metsäteknologian laitoksella. 27 s.

SJÖHOLM, R. T. 1977. Acetone-water extractives from the stump and root softwood and the influence of the removal of these through pre-extraction on the pulping. Acta Acad. Aboensis Ser. B. 37(1): 1—130.

— & SUOJOKI, M. 1975. Resin in stump and root wood of spruce and pine. Paper presented at Finnish-Soviet symposium at Åbo Akademi. 29.—30. 9. 1975. Moniste. 13 s.

SKOLNIK, H. & SNOW, A. G., Jr. 1946. Resin impregnation of catfaces. Effect of new methods upon the resin content of slash pine catfaces. Paper Trade J. (Tech. Sect.) 122(12): 126—127.

SOBAKINSKIJ, V. V. & SUSTOVA, K. M. 1969. (Tests of physiologically active substances as stimulators in tapping Scots pine for resin.) Gidrol. lesokhim. Prom. 22(2): 10. Ref. FA 30(4) No. 5749.

SOLAR, F. 1967. Harzgehalt bei Schwarz- und Weisskiefer und Wirkung der Harzungsart auf den Harzgehalt. Holzforsch. u. Holzverwertung 19(6): 117—119.

SOLDAN, A. F. 1862. Suomen terwapoltosta ja kuinka se olisi parannettava. Helsinki. 96 s.

SOSNIN, A. E. 1972. (Method of determining the (depth of) resinosis of resinous stemwood.) Lesn. Ž. 15(4): 164—166. Ref. FA 34(8) No. 4576.

SPRINGER, E. L., FEIST, W. C., ZOCH, L. L. Jr. & HAJNY, G. J. 1975. A treatment to preserve tall oil during chip storage. Tappi 58(8): 188—189.

SQUILLACE, A. E. 1975. Genetic and environmental variation in response to paraquat treatment to induce resin-soaking in slash pine. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1975: 66—76.

— & HARRINGTON, T. A. 1968. Olustee's high-yielders produces 487 Bbls. pine gum per crop for four straight years. Naval Stores Rev. 77(12): 4—5.

— & MOYER, E. 1976. Genetic and environmental variation of induced resin-soaking in slash pine — second-year results. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1976: 93—101.

STEPHAN, G. 1967. Untersuchungen über die Anzahl der Harzkanäle in Kiefern (*Pinus silvestris*). Arch. Forstw. 16(5): 461—470.

— 1971. Die Besttechnologie für die Reizmittelharzung in der DDR. Sozial. Forstw. 21(5): 148—149, 160.

— 1975. Erhöhung der Effektivität bei der Anwendung von Stimulationsmitteln in der Harzgewinnung der DDR. Sozial. Forstw. 25(5): 156—158.

— 1976. Der Einfluss einer Mineraldüngung auf den Harzertrag und auf den Holzzuwachs geharzter Kiefer. Folia For. Polon. (Ser. A) 22: 123—148.

— & FEST, W. 1980. Stand und Aufgaben bei der Produktion von Kiefernharz. Sozial. Forstw. 30(6): 178—180.

— & GÖTZE, H. 1964. Untersuchungsergebnisse zur Verwendung von Schwefelsaeure als Reizmittel bei der Harzgewinnung in der DDR. Folia For. Polon. (Lesn.) 10: 33—45.

STONE, R. J. 1975. Implications of chemically induced lightwood in southern pine management. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1975: 4—23.

— 1977. A critique of completed research on paraquat-induced lightwood. Tappi Conference Papers 1977: 57—63.

SZCZERBAKOW, K. 1963. (A non-toxic resin-flow stimulant for use in tapping Scots pine (preliminary results of tests)). Prace Inst. Bad. Lesn. 269/273: 137—145. Ref. FA 25(3) No. 3561.

TALVITIE, Y. 1924. Puun hiilto ja hartsin valmistus. WSOY. Porvoo. 546 s.

TAMMINEN, Z. 1962. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. I. Tall. Summary: Moisture content, density and other properties of wood and bark. I. Scots pine. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 41: 1—118.

— 1964. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. II. Gran. Summary: Moisture content, density and other properties of wood and bark. II Norway spruce. Rapp. Uppsats. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 47: 1—124.

TAYLOR, H. T., Jr. 1968. Engineered system for collecting gum naval stores. Proc. For. Eng. Conf. (1968): 52—53.

TOLKAČEV, A. K. & SINELOBOV, M. A. 1954. (Intensive tapping method for spruce.) Derev. lesohim. Prom. 3(12): 12—13. Ref. FA 16(2) No. 3032.

Tree treatment method. 1968. U.S. Patent 3,367,065. 3 s.

TRENDELENBURG, R. & SCHAILE, O. 1937. Harzuntersuchungen an Nadelhölzern I. Der Papier-Fabrikant (Tech.Teil) 35(26): 221—230.

— & MAYER-WEGELIN, H. 1955. Das Holz als Rohstoff. Zweite Auflage. Carl Hanser Verlag. München. 541 s.

TSAKARS, É. Ya. & LAZDA, É. É. 1976. (Tapping Scots pine with simultaneous stimulation of resin formation and resin exudation.) Gidrol. Lesokhim. Prom. (1): 15—16. Ref. FA 37(9) No. 5643.

Turpentining increases the cone crop of slash pine. 1956. Rep. Stheast. For. Exp. Sta. 1955: 18. Ref. FA 17(4) No. 3987.

UUSVAARA, O. 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. Commun. Inst. For. Fenn. 80(2): 1—105.

WAITE, P. 1977. Mill experience pulping lightwood enriched loblolly. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1977: 152—155.

VALENTINI, G. 1957. (Anatomical observations on resin-tapped pines.) Ann. Accad ital. Sci. for. 6: 283—291. Ref. FA 19(4) No. 4224.

VELKOV, D. & KALUDIN, K. 1970. (Effect of various methods of resin-tapping on fruiting and seed quality in Scots pine.) Gorskostop. Nauka 7(3): (33—42). Ref. FA 32(1) No. 761.

WERBERG, K. 1930. Lüli- ja maltspuu suhe männil. Zusammenfassung: Das Verhältnis von Kern- und Splintholz bei der Kiefer. Tartu Ülikooli Metsaosakonna toimetused 17: 1—184.

Verfahren zum chemischen Behandeln lebender Bäume und Injektionspatrone zur Durchführung des Verfahrens. 1971. Schweizerische Eidgenossenschaft Patentschrift 513581. 3 s.

WETTSTEIN, W. 1957. Bericht über eine Nachkommenschaftsprüfung von Einzelbäumen von *Pinus nigra* mit verschiedenen Harzerträgen. Zuchter Spec. (4): 93—95. Ref. FA 19(3) No. 2728.

WHITE, A. R. 1949. The resins in coniferous wood. Pulp Paper Mag. Canad. 50 (Oct.): 166—167.

WILSON, B. 1975. Pulping induced lightwood from short term treatment of slash pine. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1975: 118—125.

VINK, B. R. & ORLOV, I. I. 1971. (Resin-tapping of Scots pine in Kazakhstan with the use of sulphite spent-liquor concentrates.) Gidrol. lesokhim. Prom. 24(7): 13—14. Ref. FA 33(2) No. 2592.

WOLTER, K. E. 1977. Ethylene — potential alternative to bipyridilium herbicides for inducing lightwood in red pine. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1977: 90—99.

— & ZINKEL, D. F. 1976. Metabolic, hormonal, photosynthetic, and lightering response of red pine treated with paraquat. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1976: 31—39.

VOROB'EV, V. N. 1970. (Effect of resin-tapping on the fruiting of *Pinus sibirica*.) Lesn. Hoz. (9): 18—22. Ref. FA 32(2) No. 2546.

WROBLEWSKA, H., CONNER, A. H. & ROWE, J. W. 1977. Lightwood formation in red pine treated with paraquat. Wood. Sci. 10(1): 1—5.

VYSOCKIJ, A. A. 1966. (Effect of modern methods of resin tapping on the vitality of *Pinus sylvestris*.) Rast. Resursy 2(1): 103—115. Ref. FA 28(1) No. 611.

— 1969. (Nature and degree of resinosis of the wood of *Pinus sylvestris* tapped with bleaching powder to induce the formation of resinous wood.) Rast. Resursy 5(2): 279—281. Ref. FA 31(1) No. 732.

YLI-VAKKURI, P. 1953. Tutkimuksia puiden välisistä elimellisistä juuriyhteyksistä männiköissä. Referat: Untersuchungen über organische Wurzelverbindungen zwischen Bäumen in Kiefernbeständen. Acta For. Fenn. 60(3): 1—117.

ZAMSKI, E. 1972. The correlation between size and number of vertical and radial resin ducts and the amount of secretion in *Pinus halepensis* wood. La-Yaaran 22(3): 50—49, 40—43. Ref. FA 34(10) No. 5784.

ZANDERSON, J. G. 1966. (The pathological effect of H_2SO_4 on the resiniferous system of the sapwood of Scots pine tapped for resin.) Latv. PSR Zināt. Akad. Vēstis (5): 60—68. Ref. FA 29 (4) No. 5665.

—, CAKARS, E. J. & PUTNIS, E. A. 1966. (Rosin content of stumpwood of Scots pine tapped for resin.). Latv. PSR Zināt. Akad. Vēstis (8): 55—59. Ref. FA 28(2) No. 3114.

ZANKOFF, N. 1943. Untersuchungen über Harzgehalt und einige physikalische Eigenschaften des Holzes der bulgarischen Nadelhölzer Peuce, Kiefer und Schwarzkiefer. Holz Roh- u. Werkstoff 6(3): 100—109.

ZELAWSKI, W. & STRZALKOWSKA, W. 1964. Badania nad oddychaniem parenchymy drevna sosny (*Pinus silvestris* L.) w zwiazku z zagadnienim pozyskinania zywicy. Summary: Investigations of the respiration of wood-parenchyma in *Pinus silvestris* L. in connection with the problem of tapping. Folia For. Polon. (Lesn.) 10: 225—244.

ZINKEL, D. F. 1975 a. Chemicals from trees. A renewable source of chemicals. Chemtech (5): 235—241.

— 1975 b. Naval stores: silvichemicals from pine. Appl. Polym. Symp. 28: 309—327.

— 1975 c. Research in progress at the Forest Products Laboratory on induced lightwood formation. Lightwood Res. Coord. Council Proc. 1975: 25—29.

ZOBEL, B. 1971. Genetic manipulation of wood of the southern pines including chemical characteristics. Wood Sci. Technol. 5(4): 255—271.

SUMMARY

INCREASING RESIN CONTENT IN PINE AND SPRUCE STEMWOOD FOR HIGHER BY-PRODUCT YIELD

The resinous material obtained from trees is used in the chemical industry in numerous ways, and it is therefore a valuable raw material. The most important harvesting methods are direct resin tapping, extraction from chips, dry distillation, and as by-products from the pulp industry. In Finland, the latter is the most important method. Crude tall oil and terpentine is extracted during the Kraft pulp process. The amount of these by-products annually produced is of the magnitude of 100 000 tons.

The resin yield can be increased by selecting the most appropriate wood raw material. Scots pine is the only realistic tree species under Finnish conditions. The tree parts richest in resin are the butt and the stump where the resin content is about double that of the average. However, the stem parts are not generally used in the pulp industry as saw mills can pay a higher price and only the stumps can economically be utilized in practice.

The resin content of heartwood is about double that of sapwood. Thus the proportion of heartwood is very important as the tall oil yield is increased. Pulps mills using mainly saw mill chips, which largely consists of sapwood, obtain the least amounts of tall oil. Yields are the largest in northern Finland where the average proportion of heartwood in the raw material is at its highest. Branches and especially knots are resinous. However, their practical importance is small.

If one wants to increase the resin content of living pine stems there are numerous traditional methods which were used during the era of tar production. For example, one method was based on the partial barking of a stem during certain years. The effect was strengthened by making cuts in the butt by axe.

Also the resin tapping increased the resinosis or lightwood formation. These methods are no longer suitable due to increased labour costs and the availability of more efficient methods.

New methods of increasing the resin content of wood were developed after K a l n i n s c h had described the use of acids and similar agents for resin tapping at the IUFRO Congress, Stockholm 1929. In thirties numerous methods were developed and put into practice. However, they were mainly used for increasing the flow of resin during tapping and only seldom for increasing the resin content of wood which could then be extracted during kraft pulping or by extraction.

To date, the effective agents for increasing the resin content of living wood have been found to be sublethal doses of paraquat, diquat, and other similar chemicals. The way they function is not exactly known but it is probably related to the formation of ethylene and the consequent changes in metabolism. Also some biological agents have been found efficient.

It is possible to increase the numbers of resin canals by radiation techniques or by chemical means but, as these methods affect only the newly forming wood material, their practical significance is very limited. Tree breeding experiments to increase the numbers of resin canals take considerable time, but the results so far are promising.

The empirical results presented are based on fresh pine stumps, small suppressed pine stems that normally would be removed during thinning operations, and similar spruce stems.

The number of treated stumps was 29. In spring 1976 paraquat solution (0,1 %) was applied to the stumps in either bore holes or axe wounds. After two growing seasons the reaction in the sapwood was measured and a small increase in the resin content due to the paraquat treatment was found. Even a wound alone increased the resin content, but to a lesser extent. The reason for the continued viability of the stump sapwood cells may be related to the closeness of the stand border and the importance of inter-root connections between trees. However, the increase in the resin content was so small that it had no practical significance.

The eleven pine sample plots were situated in various parts of Finland (Table 1). In each plot 60 trees were treated or left as controls. The treatments varied in the wounding method (axe or bore) and in the location and number of wounds (Table 2). However, in every case the paraquat solution was only 0,1 % in order to avoid insect attacks and killing the trees. This concentration was based on earlier Finnish experiences.

The pine trees sampled were suppressed with short crowns and slow growth (Table 1). The kind of material collected is based on an assumption that only trees to be thinned away in subsequent thinnings could be so treated in practical forestry.

The spruce trees were situated in 8 sample plots in various parts of Finland (Table 3). They were treated in several ways including varying the paraquat concentration between 0,1 and 2,0 %.

The resin content of the pine stems was measured after one, two, and three growing seasons from 20 stems which were felled each time, and in the spruce stems after two growing seasons. In the pine stands the average annual growth was determined after three growing seasons. In order to avoid individual variation, the cross-sectional area increment was computed in relation to the increment of the six years preceding the treatment.

The treatment were concentrated on the butt bolts which were two metres long. Thus both the resin content increase and the growth decrease refer to the butt bolt only.

The resin content was measured from the dust which was made of butt bolt chips. The resin was extracted from the dust with technical acetone in a Soxhlet apparatus for three hours so that the upper tube was emptied 24 times.

According to the results the resin content of Scots pine stems increased continuously during the three year period (Table 5). Although the separation of the effects of wound and wound + paraquat treatments was difficult, the results do support the idea that the resin content can be increased by wounds alone. However, it is probable that the effects of the treatments were mixed as the wounds with chemical and wounds within were on the same small tree (Table 6).

The resin contents of trees in the various plots differed from each other although the same treatments were used throughout. The variation did not relate to geographical differences (Tables 7 and 8). It was found that the resin content was at its highest in the stands where the original resin content was at its smallest (Fig. 1).

The smallest resin content was in the trees with longest living crown (Fig. 2) and best annual increment (Fig. 3). Thus the results revealed that the increase in the resin content was at its best in the best growing trees (Fig. 4 and 5).

The same results were obtained when each sample plot was analyzed separately: the best growing trees reacted best to the treatment.

The best treatments were those where the largest number of wounds were made. The amount of paraquat liquid also had an effect, although smaller. No optimum concentration could be determined as in all treatments the concentrations used were weak in order to avoid insect damages.However, it can be concluded that even with weak concentrations (0,1 %) resin content of small suppressed pines can be increased threefold compared with untreated trees.

As the resin content increases the wood increment diminishes. When the resin increment was 200 %, the wood increment dropped by 35 % (Fig. 6). Smaller resin increases affected less to the wood increment the relation being rather linear. The same results were obtained when the results of various sample plots were compared (Fig. 7 and 8).

The summerwood proportion increased a little as the increment decreased (Fig. 9). Thus the wood of treated trees is a little heavier than that of untreated trees. Of course, much of the difference is due to the increase in resin (Fig. 10).

Some results concerning spruce after two growing seasons were computed, too. The main results are presented in Tables 9 and 10. According to them the absolute resin content (in grams per tree) is quite small in every treatment but the relative increase in resin contents (compared with control trees) are as high as in pine or better. Of course, in practice only the absolute increase is important.

In spruce the absolute resin increase was larger the higher the original resin content was. This is shown in Fig. 11. The relative increase was higher in the trees with low resin content (Fig. 12).

In spruce the effect of wounds alone noticeably increased the resin content compared with the joint effect of wound and chemical (Table 11). This suggests that in spruce the pathological resin canals have more importance than in pine.

For pine an economic model was developed for the estimation of the profitability of the paraquat treatment. The model was based on the prices of pulp and crude tall oil and the relation between the resin increase and the decrease in wood material growth. Some results are presented in Table 12. According to them, the price relations which prevail to-day would not allow the paraquat treatment: the wood increment losses are more valuable than the value of crude tall oil. However, relatively small increases in crude tall oil prices in relation to pulp prices make the treatment profitable, especially if the trees are large and react intensively to the treatment.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*
Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17

Ylijohtaja — *Director:* Huikari, Olavi, professori, MMT, *Professor, DF*
Tiedotuspäällikkö — *Information officer:* Heiramo, Tuomas, VTM, *M.Pol.Sc.*
Toimittaja — *Editor:* Oja, Seppo, ekonomi, *B.Econ.*

MAANTUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE*
Professori — *Professor:* Mälkönen, Eino, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Lipas, Erkki, MMT, *DF*

SUONTUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF PEATLAND FORESTRY*
Professori — *Professor:* Paavilainen,Eero, MMT, *DF*

METSÄNHOIDON TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SILVICULTURE*
Professori — *Professor:* Lähde, Erkki, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Raulo, Jyrki, FT, *Ph.D,*

METSÄNJALOSTUKSEN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST GENETICS*
Professori — *Professor:* Hagman, Max., MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Koski, Veikko, FT, *Ph.D*

METSÄNSUOJELUN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST PROTECTION*
Metsäpatologia — *Forest Pathology:*
Professori — *Professor:* Kallio, Tauno, MMT, *DF*
Metsäeläintiede — *Forest Zoology:*
Professori — *Professor:* Juutinen, Paavo, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Annila, Erkki, MMT, FT, *DF, Ph.D*

METSÄNARVIOIMISEN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST INVENTORY AND YIELD*
Metsäninventointi — *Forest Inventory:*
Professori — *Professor:* Kuusela, Kullervo, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Tiihonen, Paavo, MMT, *DF*
Puuntuotos — *Forest Yield:*
Professori — *Professor:* Vuokila, Yrjö, MMT, *DF*

METSÄTEKNOLOGIAN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST TECHNOLOGY*
Puuntutkimus — *Utilization of Forest Products:*
Professori — *Professor:* Kärkkäinen, Matti, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Nisula, Pentti, MMT, *DF*
Metsätyötiede — *Forest Operations:*
Professori — *Professor:* Hakkila, Pentti, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Harstela, Pertti, MMT, *DF*

METSÄEKONOMIAN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST ECONOMICS*
Kansantaloudellinen metsäekonomia — *Social Economics of Forestry:*
Professori — *Professor:* Heikinheimo, Lauri, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Palo, Matti, MMT, *DF*
Liiketaloudellinen metsäekonomia — *Business Economics of Forestry:*
Professori — *Professor:* Hämäläinen, Jouko, MMT, *DF*

MATEMAATTINEN OSASTO — *DEPARTMENT OF MATHEMATICS*
Professori — *Professor:* Seppälä, Risto, VTT, *D.Pol.Sc.*

KOKEILUALUETOIMISTO — *EXPERIMENTAL FOREST OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Luoma, Kauko, metsäneuvos, *BF*

HALLINTOTOIMISTO — *ADMINISTRATION OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Sohkanen, Kari, VT, *LL.B*

1282006926 ISSN 0026-1610