Metsäntutkimuslaitos
METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Metsänarviointien tutkimusosasto
Kirjasto

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

93

HELSINKI 1979

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

93

Metsäntutkimuslaitos

Kirjasto

HELSINKI 1979

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

93

Heikinheimo, L. & Hämäläinen, J. 1979. Vilho Pöntynen in memoriam ..... 1—7

Suckcharoen, S. 1979. Vilho Pöntysen kirjallinen tuotanto. *List of publications* ..... 8—14

93.1 Poso, S. & Kujala, M. 1977. A method for national forest inventory in northern Finland. Seloste: Menetelmä valtakunnan metsien inventointiin Pohjois-Suomessa ..... 1—54

93.2 Harstela, P. & Vuorinen, H. 1977. Fatigue at cutting work. Heart rate changes and some metabolic factors during a working day. Seloste: Tekomiehen väsyminen. Sydämen sykinnän muutokset ja eräät aineenvaihdunnalliset tunnukset työpäivän aikana ..... 1—23

93.3 Laakkonen, O. 1978. Taimitarhan toimintavaihtoehtojen valinnan liiketaloudellinen malli. Summary: An economic model for selecting production alternatives in a forest nursery ..... 1—95

93.4 Keipi, K. 1978. Approaches for functionally decentralized wood procurement planning in a forest products firm. Seloste: Menetelmiä metsäteollisuusyrityksen toimintojen mukaisesti hajautettua puunhankinnan suunnittelua varten ..... 1—116

93.5 Nisula, P. 1978. Rullataimimenetelmä taimitarhalla ja metsänviljelyn toimenpideketjussa. Koulitut männyn taimet. Summary: The roll transplant method in the nursery and in the forestation work chain. The pine transplants ..... 1—112

93.6 Kuusela, K. 1978. Suomen metsävarat ja metsien omistus 1971—1976. Summary: Forest resources and ownership in Finland 1971—1976 ..... 1—107

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA 93
COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE 93

VILHO PÖNTYNEN

1891–1976

IN MEMORIAM

HELSINKI 1979



VILHO PÖNTYNEN 1891–1976

VILHO PÖNTYNEN
1891–1976

IN MEMORIAM

Vilho Pöntynen syntyi maanviljelijän poikana Säkkijärvellä lähellä Viipuria 11. 5. 1891, joten hän oli kuollessaan lähes 85 vuoden ikäinen. Hän oli siten yksi niistä Suomen metsätieteen perustajista, jotka maan itsenäistyttyä panivat alulle Metsäntutkimuslaitoksessa ja Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisessä tiedekunnassa sen tutkimustoiminnan ja korkeimman metsäopetuksen.

Vilho Pöntynen ei tosin kuulunut aivan ensimmäiseen metsäprofessoripolveemme sanan varsinaisessa mielessä; hän oli hiukan nuorempi. Käytyään Helsingin maanviljelyslyseon hän valmistui metsänhoitajaksi (Hyytiälän kurssi 1913) v. 1915. Ajan tavan mukaan hän oli ensin metsähallinnossa metsäkonduktöörinä vuoteen 1918, asutushallituksessa metsätoimiston apulaisjohtajana vuoteen 1922 (hän suoritti v. 1920 filosofian kandidaatin tutkinnon). Sen jälkeen hän toimi metsähallinnon Itä-Suomen piirikuntakonttorissa arvioimistoimiston johtajana vuoteen 1933, tosin vuodesta 1927 lähtien virkavapaana.

Tällöin alkoi Pöntysen kiinnostus metsäntutkimukseen ja korkeimpaan metsäopetukseen edelleen muotoutua. Hän toimi apulaisjohtajana professori Eino Saaren johtamaa I puunkäyttötutkimusta suunniteltaessa ja toteutettaessa Metsäntutkimuslaitoksessa vuosina 1927–30 ja heti sen jälkeen kolme vuotta vt. yliopiston metsänhoitajana. Tällöin hän myös väitteli maatalous-metsätieteellisessä tiedekunnassa tohtoriksi v. 1931 aiheenaan "Tutkimuksia kuusen esiintymisestä alikasvoksina Raja-Karjalan valtion mailla". Aihe on lähinnä metsänhoitotieteellinen, ja aineistonsa hän kokosi metsähallinnon Itä-Suomen piirikunnassa toimiessaan. Toisena lisensiaattitutkintonsa aineena hänellä oli metsäpolitiikka ja kolmantena kansantaloustiede.

Yliopiston metsänhoitajan viransijaisuuden päätyttyä tri Pöntynen seurasi useiden hiukan vanhempien metsätiedemiesten jälkiä menemällä Evon metsäkoulun johtajaksi. Virka oli hänen nimissään vuoteen 1938, mutta jo pari vuotta siinä oltuaan hän sai v. 1935 virkaa tekevänä hoidettavakseen Helsingin yliopiston metsätalouden apulaisen, nykyisen apulaisprofessorin viran. Tultuaan nimitetyksi tähän virkaan v. 1938, hän hoiti sitä menestyksellisesti vuoteen 1950 saakka. Yliopiston opettajana Pöntysen tehtävänä oli antaa metsätalouden yleisopetusta maatalousylioppilaille sekä hoitaa yliopiston tilojen, Malminkartanon ja Viikin metsiä. Hänellä oli tässä työssä tukenaan hyvä käytännön kokemus ja välttämätön biologinen

1279012968

tietopohja. Maatalousylioppilaat pitivätkin häntä hyvänä opettajana, ja hänkin puolestaan otti innokkaasti osaa oppilaittensa harrastuksiin.

Viisitoistavuotisen apulaisprofessorinuransa aikana Vilho Pöntynen jatkoi keskeytymätöntä julkaisutoimintaansa, joka oli alkanut jo vuosia ennen väitöskirjan valmistumista, v. 1919. Väitöskirjastaan poiketen hänen aiheensa keskittyivät Suomen puun käytön määritykseen ja siihen liittyviin mittausteknillisiin ja muuntolukukysymyksiin. Hän kehitti itselleen Suomen puunkäytön vuosittain etenevän seuranta- ja analyysijärjestelmän, jota hän ylläpiti jatkuvasti eläkkeelle siirtymiseensä saakka. Sen kiintopisteinä olivat I puunkäyttötutkimus vuonna 1927, II puunkäyttötutkimus v. 1938–41, johon Pöntynen otti osaa Metsäntutkimuslaitoksen asiantuntijana sekä hänen johtamansa vuoden 1955 III puunkäyttötutkimus.

Kun Metsäntutkimuslaitoksen metsätalouden (sittemmin metsäekonomian) professorin virka tuli avoimeksi v. 1950, sai Vilho Pöntynen itseoikeutetusti tämän viran, joten hän siitä alkaen joutui päätyönään johtamaan Metsäntutkimuslaitoksen puunkäyttötutkimuksia. Ne muodostivatkin siihen aikaan valtaosan Pöntysen johtaman osaston työskentelystä. Erityisesti tämä vallitsevuus tuli selväksi, kun oli valmistauduttava III valtakunnalliseen puunkäyttötutkimukseen vuonna 1954. Osaston henkilökunta, etenkin kentällä toimiva, laajeni suuresti kuten aikaisemminkin vastaavissa tilanteissa vuosien 1927 ja 1938 vaiheilla.

Valtakunnallisten puunkäyttötutkimusten lisäksi tuolloisessa metsätalouden tutkimusosastossa suoritettiin verokuutiometrin raha-arvon määrittäminen, joka on nykyisin annettu Metsäntutkimuslaitoksen matemaattisen osaston tehtäväksi. Kaiken kaikkiaan Pöntysen aikana osastolla oli tutkijoina kaksi nuorempaa assistenttia sekä pari tilapäistä tutkimusmetsänhoitajaa. Toisen assistentin aika kului kokonaan mainittuihin metsäverotuksen tehtäviin. Tutkijoiden lukumäärää lisäämättä ei siis ollut mainittavaa mahdollisuutta laajentaa metsäekonomista tutkimusta mainittujen perinteellisten tehtävien ulkopuolelle. Toisaalta Pöntysen aikaisempi toiminta oli erityisesti suuntautunut juuri näille alueille. Myös hänen ajatustapansa tutkijana kohdistui voittopuolisesti talouden reaalisiin ilmiöihin, päivän metsätalous- ja yleistäkin talouspolitiikkaa hän seurasi valppaasti. Erityisen kiinnostunut hän oli metsiemme hakkuupoistumasta ja metsäteollisuuden raakapuun riittävyydestä, etenkin kun puumassateollisuus laajeni voimakkaasti 1950-luvun jälkipuoliskolla.

Pöntynen oli osastonsa esimiehenä patriarkaalinen, ulkonaiselta olemukseltaan koruttomalla tavalla kunnioitusta herättävä. Hänessä oli harvinaisen paljon luontaista arvokkuutta, mutta toisaalta myös hyväntahtoisuutta, elämää ja huumoria ymmärtävää mieltä. Hän syventyi perusteellisesti omiin tutkimuksiinsa ja asiantuntijatehtäviinsä. Kun niiden tuloksiin joskus kohdistettiin kovaakin poliittista arvostelua, seisoi hän järkkymättä alkuperäisten käsitystensä takana.

Alaisiinsa Pöntynen suhtautui isällisesti, mutta ajan hengen mukaisesti hän ei pitänyt tutkimuslaitosta jatko-opinnoille erityisen otollisena paikkana. Siitä huolimatta hän pyrki kannustamaan tutkijoitaan omatoimisuuteen ja itsenäisyyteen osoittamalla heitä kohtaan luottamusta ja antamalla vaikeitakin tehtäviä.

Pöntynen toimi virkojensa ohella metsätalouden erikoisopettajana Teknillisessä korkeakoulussa v. 1948–53 ja uudelleen v. 1957–59 ja tuli tällöin useiden insinööripolvien tutuksi. Tässä tehtävässä häntä auttoi perusteellinen tieteellinen ja käytännön perehtyneisyys metsäekonomian, metsänarvioimisen sekä metsänhoidon kysymyksiin. Hän osallistui myös lukuisten komiteoiden ja neuvottelukuntien työskentelyyn, oli Suomen Metsätieteellisen Seuran puheenjohtajana toimintavuonna 1943–44 ja kutsuttiin sen kunniajäseneksi v. 1959.

Vilho Pöntyselle myönnettiin ero Metsäntutkimuslaitoksen metsätalouden professorin virasta vuonna 1961. Hän jatkoi kuitenkin julkaisutoimintaansa täysipainoisesti kaksi vuotta, jolloin painosta ilmestyi mm. III puunkäyttötutkimuksen pääteos. Senkin jälkeen hän vielä laati parina vuotena jo 1930-luvulla aloittamaansa "Puutavaran uitto"-sarjaa.

Vilho Pöntynen liittyy siihen Suomen metsätiedemiesten joukkoon, joka Blomqvistin ja Cajanderin vanavedessä oli perustamassa sellaisia tieteenaloja kuin metsänhoito-, metsänarvioimis-, metsämaatiede, metsäteknologia ja metsäekonomia. Pöntynen oli nuorempi kuin useimmat heistä, mutta toisaalta selvästi vanhempi kuin ns. toinen sukupolvi näitä professoreita, joiden ehkä leimaa antavin piirre on aktiivinen osallistuminen II maailmansotaan. Sekin polvi on jo väistymässä kolmannen polven tieltä, jonka yleispiirteenä voisi olla tavattomasti kehittynyt tutkimusmenetelmäarsenaali tietokoneineen. Vilho Pöntynen oli jäyhän talonpoikaisen rauhallisuuden ruumiillistuma, joka ei antanut ympäristön kiireiden itseään järkyttää. Hän jatkoi työskentelyään perityin, tarkoituksenmukaisiksi katsotuin menetelmin. Läpikäyvänä periaatteena oli talonpoikaisjärki, varmuus ja mahdollisimman selvä yksinkertaisuus. Hän ei ollut kunnianhimoinen ja varoi päästämästä poliittisia meriittejä tavoittelevia käsiksi aineistoihinsa. Tällaisena Vilho Pöntynen monella tavalla esimerkillisenä ihmisenä ja pioneerina jää Suomen metsätieteen historiaan.

Lauri Heikinheimo *Jouko Hämäläinen*

VILHO PÖNTYNEN
1891–1976

IN MEMORIAM

Dr. Vilho Pöntynen was Professor of Forest Economics at the Finnish Forest Research Institute between 1950 and 1960. During this period he concentrated on wood utilization surveys and removal statistics. He was a staff member in the first wood utilization survey led by professor Eino Saari in 1927. In the second one led by professor N. A. Osara in 1938, he was an expert advisor and in 1955 he was himself the leader. He built up an annual removal statistics system for the country. Thus, with professors Yrjö Ilvessalo, Eino Saari and N. A. Osara he founded Finland's forest balance feedback system which developed into the national forestry planning activities of the 1960's.

Vilho Pöntynen began his career in the service of Finland's State forests in 1915 and was mainly responsible for mensuration until 1933. There he made his dissertation in silviculture. He then headed Finland's oldest forest ranger school at Evo which later led him to an associate professorship at the University of Helsinki, a post he held for 15 years. His task was to teach the general principles of forestry to agricultural students in the Faculty of Agriculture and Forestry. He had a firm background for this task with his scientific work in silviculture, his work in mensuration, his studies in forest policy, in general economics and his experience as a teacher at Evo. Consequently, he was a successful university teacher and also took good care of the two forestry estates belonging to the University.

Pöntynen was appointed to the professorship in Forest Economics in the Forest Research Institute when it became vacant in 1950. The main task of the Department was the wood utilization survey, for which professor Pöntynen had thorough experience. The survey of 1955, especially, for many years required almost all the efforts of the small staff of the Department until the main results were published.

Vilho Pöntynen was a prolific writer which can be seen from his bibliography which spans the years 1919 to 1964. The latter being years after his retirement at the age of 70. His favoured topic was the utilization of roundwood. He wrote about the results of the wood utilization surveys and of the methods used in them. He developed systems of conversion factors and year to year statistical series of the removals from Finland's forests and their break down into the various utilization categories. From this material Pöntynen was able to make and write analyses of the

removals and their trends. With his knowledge of many disciplines he participated in a great number of State Committees, e.g. on sales of timber from State forests, on small size roundwood problems and on the organization of forest statistics.

Professor Pöntynen also taught forestry at the Technical College in Helsinki and thus he became well known to Finnish engineers. In this task too, he could use his broad background knowledge in forest economics, silviculture and mensuration. He also worked for the Forest Science Association, of which he became a Honorary Member.

Professor Vilho Pöntynen belonged to the first generation of forest scientists who, headed by A. G. Blomqvist and A. K. Cajander, founded forestry research and higher education in Finland. Although Pöntynen was younger than most of the founders he was also older than the next generation of professors who had an active participation the World War II as a marked common feature. These in turn are now rapidly being replaced by a third generation, characterized by an immensely sophisticated armour of research methods and electronic devices. Pöntynen relied on traditional survey methods and large staffs of clerks but only very few assistant researchers.

He was an embodiment of tranquility and let nothing of the hurry and restlessness of the world disturb his peace of mind. His leading principles were common sense, certainty and simplicity. He was not ambitious and he took care to avoid letting his materials be used for political ends.

Vilho Pöntynen, one of the youngest of his generation, was in many respects a man and a scientist of the highest standard. He has justly earned his place in the history of Finland's forest science.

Lauri Heikinheimo *Jouko Hämäläinen*

VILHO PÖNTYSEN KIRJALLINEN TUOTANTO
LIST OF PUBLICATIONS

Luetteloinut-*catalogued by* Sinikka Suckcharoen

1919

Metsänomistajat ja metsänhoitosuunnitelmat. Pellervo n:o 8, s. 146–149.

1920

Riittävä kotitarvemetsä asutustilallisille. Tapio 13, s. 135–139.

1928

Maaseudun kotitarvepuun käytön selvittäminen. Metsätaloudellinen aikakauskirja 45, s. 6–8.

1929

Kiintomittataulukkoja. Apuneuvoja erilaisissa mitoissa ilmaistujen puutavaramäärien todellisen kiinteän kuutiomäärän laskemiseksi. (Yhdessä Paavo Aron ja Eino Saaren kanssa.) Hki. 66 s., kuv. (Keskusmetsäseura Tapion julkaisuja.)
Kuivien halkojen kuoriprosenteista. Tapio 22, s. 60–63.
Tukkien y.m. kappaleittain mitattavien puutavarain todellisen kuutiomäärän laskeminen. Kiintomittataulukkoja, s. 9–41, kuv.
Tutkimuksia kuusen esiintymisestä alikasvoksina Raja-Karjalan valtionmailla. (Diss.) Referat: Untersuchungen über das Vorkommen der Fichte *(Picea excelsa)* als Unterwuchs in den finnischen Staatswäldern von Grenz-Karelien. Hki. 190 s., kuval., karttal. & Acta For. Fenn. 35.1. 235 s., kuval., karttal.

1930

Suomen puun käyttö. Metsätaloudellinen aikakauskirja 47, s. 91–94.

1931

Kappaleittain kuutioitavat pyöreät puutavarat. Tapion taskukirja. 7. p. Hki, s. 141–148.
Eräitä lukuja Suomen puunjalostusteollisuuden raaka-aineen käytöstä vuosina 1911–1929. Yksityismetsänhoitajayhdistyksen vuosikirja IV, s. 59–75, kuv.
Suomen puunjalostusteollisuuden raaka-aineen käyttö vuosina 1911–29. Referat: Der Rohholzverbrauch der finnischen Holzveredlungsindustrie in den Jahren 1911–29. Acta For. Fenn. 37.3. 115 s., kuv.

1932

Höyryalusten polttopuun kulutus. Referat: Der Brennholzverbrauch der Dampfschiffe in Finnland. Acta For. Fenn. 38.2. 56 s., kuv.

Jalostamattoman puutavaran vienti Suomesta vuosina 1911–1931. Referat: Die Ausfuhr unveredelten Holzes aus Finnland in den Jahren 1911–1931. Acta For. Fenn. 38.1. 126 s.

Puunjalostusteollisuuden raaka-ainemäärät. Metsätietoa 1.4, s. 125–133, kuv.

1933

Koivutukkien todelliset kuutiomäärät ja latvamuotoluvut. Summary: The actual volume and top form factors of birch logs. Commun. Inst. For. Fenn. 14.1. Liite 4, s. 83–90.

Uittotilastoa vuodelta 1932. Kerännyt ja julkaissut Suomen Uittajainyhdistys r.y. – Flottningsstatistik för år 1932. Insamlad och utgiven av Finlands Flottareförening r.f. (Laatija.) Suomen Uittajainyhdistyksen vuosikirja II. Liite, 35 s.

Veistettyjen vientitavaroiden pyöreäksi puuksi muuntaminen. Summary: Conversion of the volume of hewn timber into the corresponding volume of round timber. Commun. Inst. For. Fenn. 14.1. Liite 3, s. 57–82.

1934

Uittotilastoa vuodelta 1933. Kerännyt ja julkaissut Suomen Uittajainyhdistys r.y. Referat: Flottningsstatistik för år 1933. Insamlad och utgiven av Finlands Flottareförening r.f. (Laatija.) Suomen Uittajainyhdistyksen vuosikirja III, Liite, 33 s.

1936

Metsän hakkuun ja ajon sekä puutavaran uiton työn kysynnästä. Referat: Über die Arbeitsnachfrage bei Abtriebs- und Abfuhrarbeiten sowie in der Holzflösserei. Acta For. Fenn. 42.9. 91 s., kuv.

Suomen puunjalostusteollisuuden kansantaloudellisesta merkityksestä. Hki. 135 s.

Suomen puunjalostusteollisuus raaka-aineen käyttäjänä vuosina 1925–1935. Referat: Der Rohstoffverbrauch der finnischen Holzindustrie i.d.J. 1925–1935. Acta For. Fenn. 45.3. 259 s.

1937

Kappaleittain kuutioitavat pyöreät puutavarat. Tapion taskukirja. 8. p. Hki, s. 130–138.

Puunjalostusteollisuuden eri haarojen käyttämä pyöreä raakapuu. Sahojen raaka-aineenaan käyttämät tukit. Paperiteollisuuden eri haarojen käyttämä kotimainen pyöreä raakapuu. Paperiteollisuuden käyttämät erilaiset puuraaka-aineet. (Taulukoita.)[1] Tapion taskukirja. 8. p. Hki, s. 11–13.

Puunjalostusteollisuuden raaka-aineen käyttö vuosina 1926–1935. Referat: Der Gebrauch des Rohproduktes in der finnischen Holzveredlungsindustrie in den Jahren 1926–1935. Yksityismetsänhoitajayhdistyksen vuosikirja X, s. 109–118, kuv.

1939

Katsaus Suomen metsävarojen kehitykseen vuosina 1916–37. Komiteanmietintö n:o 14, s. 270–278.

Kuusipaperipuiden hinnoista pohjoismaissa. Referat: Über die Preise für Fichtenpapierholz in den nordischen Ländern. Commun. Inst. For. Fenn. 28.5. 79 s., kartt.

[1] Taulukot mainitaan erikseen vain, jos artikkeli koostuu pelkästään taulukoista.

1941

Jalostamattoman puun vienti ja tuonti. Metsäteollisuuden eri haarojen käyttämä pyöreä raakapuu. Sahojen raaka-aineena käyttämät tukit. Paperiteollisuuden eri haarojen käyttämä kotimainen pyöreä raakapuu. Paperiteollisuuden käyttämät erilaiset puuraaka-aineet. (Taulukoita.) Tapion taskukirja. 9. p. Hki, s. 7–10.
Kappaleittain kuutioitavat pyöreät puutavarat. Tapion taskukirja. 9. p. Hki, s. 128–136.
Metsäteollisuutemme raaka-ainepuun käyttö. Metsätaloudellinen aikakauslehti 58, s. 5–7.

1942

Puun ja puunjalosteiden menekkimahdollisuuksista ns. suuralueiden markkinoiden varassa. Metsälehti n:o 51–52, s. 10.
Skogsprodukterna efter kriget. Skogsbruket 12, s. 219–222.
Suomen luontaisista edellytyksistä metsätalouden harjoittamiseen. Emäntälehti n:o 12, s. 248–251, kuv.
Suomen metsätalouden ja metsäteollisuuden toimintamahdollisuuksista Manner-Euroopan markkinoiden varassa. Referat: Die Betätigungsmöglichkeiten der finnischen Waldwirtschaft und Holzindustrie auf den europäischen Festlandsmärkten. Acta For. Fenn. 50.11. 15 s.

1943

Metsänhoito maatiloilla. Maamiehen käsikirja. 1. p. Hki, s. 258–315, kuv.

1944

Eräitä laskelmia sahapuiden pystyarvion tarkkuudesta. Metsälehti n:o 33–34, s. 7, kuv.
Kappaleittain kuutioitavat pyöreät puutavarat. Tapion taskukirja. 10. p. Hki, s. 148–154.
Puun käyttö Suomessa (Taulukoita.) Tapion taskukirja. 10. p. Hki, s. 8–10.
Sahapuiden pystyarvion tarkkuudesta. Metsätaloudellinen aikakauslehti 61, s. 172–175, kuv.
Uittotilastoa vuodelta 1943. Aineiston kerännyt Suomen Uittajainyhdistys r.y. Referat: Flottningsstatistik för år 1943. Insamlad av Finlands Flottareförening r.f. (Laatija.) Suomen Uittajainyhdistyksen vuosikirja XI–XIII. Liite, 38 s.
Uittotilastoa vuosilta 1941–1942. Aineiston kerännut Suomen Uittajainyhdistys r.y. Referat: Flottningsstatistik för åren 1941–1942. Insamlad av Finlands Flottareförening r.f. (Laatija.) Suomen Uittajainyhdistyksen vuosikirja XI–XIII. Liite, 44 s.

1945

Kymin Uittoyhdistyksen kuutioimistaulukot. (Taulukoita.) 28 s.
Metsänhoito maatiloilla. Maamiehen käsikirja. 2. p. Hki, s. 258–315, kuv.
Suomen puun käyttö vuosina 1939–43. Metsätaloudellinen aikakauslehti 62, s. 159–166.
Uittotilastoa vuodelta 1944. Aineiston kerännyt Suomen Uittajainyhdistys r.y. Referat: Flottningsstatistik för år 1944. Insamlad av Finlands Flottareförening r.f. (Laatija.) Suomen Uittajainyhdistyksen vuosikirja XIV. Liite, 44 s.

1946

Puutavaran uitto vuonna 1945. – Virkesflottning år 1945. Tilastokatsauksia n:o 5–6, s. 30–41.

1947

Kappaleittain kuutioitavat pyöreät puutavarat. Tapion taskukirja. 11. p. Hki, s. 149–155.
Puun käyttö Suomessa. (Taulukoita.) Tapion taskukirja. 11. p. Hki, s. 7–9.

Puutavaran uitto vuonna 1946. – Virkesflottning år 1946. Tilastokatsauksia n:o 5–6, s. 30–45.
Suomen Uittajainyhdistys r.y:n vuosikirja XV & Finlands Flottareförening r.f:s årsbok XV. (Toimittaja.) Hki. 128 s., kuv.

1948

Eräitä näkökohtia metsähallituksen pysty- ja hankintamyynneistä. Metsänhoitajien jatkokurssit 1947, V, s. 60–70 & Silva Fenn. 64, s. 60–70, kuv.
Puutavaran uitto vuonna 1947. – Virkesflottning år 1947. Tilastokatsauksia n:o 5–6, s. 35–49.
Suomen puun käyttö ja metsätase. Summary: Wood utilization and forest balance in Finland. (Yhdessä N. A. Osaran ja E. E. Erkkilän kanssa.) Commun. Inst. For. Fenn. 36.4. 166 s., kuv.
Suomen Uittajainyhdistys r.y:n vuosikirja XVI & Finlands Flottareförening r.f:s årsbok XVI. (Toimittaja.) Hki. 128 s., kuv.
Valtion metsäkauppakomitean mietintö. Komiteanmietintö n:o 6. (Sihteeri.) Hki. 62 s.

1949

Floating as long-distance transport of timber in Finland. (Yhdessä Ulf Lindgrenin kanssa.) III World forestry congress. Rapports, special papers n:o 3, section IV, s. 327–329.
Kappaleittain kuutioitavat pyöreät puutavarat. Tapion taskukirja. 12. p. Hki, s. 243–249.
Pohjois-Amerikan metsätalous FAO:n selvitysten valossa. Metsälehti n:o 4, s. 6.
Puun käyttö Suomessa. (Taulukoita.) Tapion taskukirja. 12. p. Hki, s. 9–11.
Puutavaran uitto vuonna 1948. – Virkesflottning år 1948. Tilastokatsauksia n:o 7–8, s. 32–48.
Suomen puun käyttö. Puutavarakaupan käsikirja I. Hki, s. 99–128.
Suomen Uittajainyhdistys r.y:n vuosikirja XVII & Finlands Flottareförening r.f:s årsbok XVII. (Toimittaja.) Hki. 150 s., kuv.

1950

Forestry. Report from the National FAO Committee of Finland to the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Hki, s. 20–30.
Puutavaran uitto vuonna 1949. – Virkesflottningen år 1949. Tilastokatsauksia n:o 9–10, s. 40–53.
Suomen Uittajainyhdistyksen vuosikirja XVIII & Finlands Flottareförenings årsbok XVIII. (Toimittaja.) Hki. 79 s., kuv.

1951

Puutavaran uitoista. Paperi ja Puu A 33, s. 134–135, kuv.
Puutavaran uitto vuonna 1950. – Virkesflottningen år 1950. Tilastokatsauksia n:o 7–8, s. 42–55.
Suomen puun käytön selvittäminen. Metsätaloudellinen aikakauslehti 68, s. 217–218.
Suomen Uittajainyhdistyksen vuosikirja XIX & Finlands Flottareförenings årsbok XIX. (Toimittaja.) Hki. 136 s., kuv.
Troopillisten alueiden metsätalouden kehittäminen ns. teknillisen avun turvin. Metsätaloudellinen aikakauslehti 68, s. 207–208.

1952

Edistyvän metsätalouden perusehtona on hakkuiden vähentäminen joksikin ajaksi . . . Talouselämä 15, s. 979, 982–983, kuv.
Forestry. Filandia. A cross section of Finland, her nature, art, and industry. Hki, s. 73–87, kuv.
Koivuakin hakattava tuottohakkauslaskelman puitteissa. Talouselämä 15, s. 319, 321.
Merikalastus. (Yhdessä Martti Sunilan kanssa.) Säkkijärvi kautta aikojen. Muistojulkaisu. (Toim. Väinö Seppä.) Hki, s. 421–438, kuv.

Piirteitä rannikkomaantieteestä. Säkkijärvi kautta aikojen. Muistojulkaisu. (Toim. Väinö Seppä.) Hki, s. 10–19, kuv.
Puunkäyttötutkimuksen merkityksestä. Suomen puutalous n:o 10, s. 316.
Puutavaran kaukokuljetus ja puun käyttö. Mitä-missä-milloin. 3. kansalaisen vuosikirja 1953. Hki, s. 228–232, kuv.
Suomen Uittajainyhdistyksen vuosikirja XX & Finlands Flottareförenings årsbok XX. (Toimittaja.) Hki. 165 s., kuv.
Vuoden 1952 uitoista. Suomen puutalous n:o 6, s. 181.

1953

Puutavaran uitto vuosina 1951 ja 1952. – Virkesflottningen åren 1951 och 1952. Tilastokatsauksia n:o 9, s. 35–50.
Puutavaran uittomääristä vuosina 1923–52 sekä ennakkotietoja v:n 1953 uitoista. Summary: Timber floated in Finland in the years 1923–52, and preliminary information on floatings in 1953. Metsätaloudellinen aikakauslehti 70, s. 119–122, kuv.
Suomen Uittajainyhdistyksen vuosikirja XXI & Finlands Flottareförenings årsbok XXI. (Toimittaja.) Hki. 124 s., kuv.
Teollisuuden polttoaineen käyttömääristä v. 1950. – Om industrins bränsleförbrukning år 1950. – The use of fuel by industry in 1950. Tilastokatsauksia n:o 4, s. 35–47.

1954

Havaintoja Neuvostoliiton metsätaloudesta. Metsämies 45, s. 215–220, kuv.
Kuluvana kesänä uitetaan n. 11 milj. kiintokuutiometriä. Metsälehti n:o 19, s. 1, kuv.
Metsäteollisuuden puuraaka-aineen käytöstä sodan jälkeen. Suomen puutalous n:o 11, s. 401–402, 405–406, kuv.
On the post-war utilization of wood in the forest industry. Finnish paper and timber 5, s. 119–121.
Puutavaran uitto vuonna 1953. – Virkesflottningen år 1953. Tilastokatsauksia n:o 5, s. 35–48.
Suomessa julkaistua uittokirjallisuutta. – I Finland publicerad flottningslitteratur. Suomen Uittajainyhdistyksen vuosikirja XXII, s. 125–155.
Tutkimuksia Helsingin polttoainehuollosta. Summary: Studies of the fuel supply of the city of Helsinki. Commun. Inst. For. Fenn. 43.2. 236 s., kuv.
Tutkimuksia Suomen teollisuuden vuonna 1950 käyttämistä polttoaineista. Summary: Investigations into industrial fuel in Finland year 1950. Acta For. Fenn. 61.1. 26 s., kuv.
Valtakunnan kolmas puunkäyttötutkimus pääsee vihdoin alkamaan. Metsälehti n:o 14, s. 1, 7.

1955

Puutavaran uitto vuonna 1954. – Virkesflottningen år 1954. Tilastokatsauksia n:o 7, s. 37–50.

1956

Kappaleittain kuutioitavat pyöreät puutavarat. Tapion taskukirja. 13. p. Hki, s. 256–262.
Maapallon metsät ja niiden käyttö. Metsäkäsikirja I. Hki, s. 19–56, kuv., kartt.
Puun käyttö Suomessa Metsäkäsikirja I. Hki, s. 113–133, kuv., kartt.
Puun käyttö Suomessa. (Taulukoita.) Tapion taskukirja. 13. p. Hki, s. 6–8.
Puutavaran uitto vuonna 1955. – Virkesflottningen år 1955. Tilastokatsauksia n:o 7, s. 48–55.

1957

Puutavaran uitto vuonna 1956. – Virkesflottningen år 1956. Tilastokatsauksia n:o 5, s. 38–45.

1958

Metsäteollisuuden puun käyttö uusimpien tutkimusten valossa. Summary: The utilization of wood by Finland's forest industry in the light of the most recent investigations. Suomen Uittajainyhdistyksen vuosikirja XXVII, s. 34–44, kuv.
Puunkäyttötutkimuksen tuloksia. Metsätaloudellinen aikakauslehti 75, s. 237–242, kuv.
Puutavaran uitto vuonna 1957. – Virkesflottningen år 1957. Tilastokatsauksia n:o 6, s. 39–46.
Suomen puun käyttö uusimpien tutkimuksien valossa. Metsämies 49, s. 178–180, kuv.
Suomen puun käytöstä. Suomen puutalous n:o 3, s. 113–118, 121, kuv.

1959

Finland's wood utilization. Finnish paper and timber 10, s. 61–64.
Kappaleittain kuutioitavat pyöreät puutavarat. Tapion taskukirja. 14. p. Hki, s. 258–264.
Puun käyttö Suomessa. (Taulukoita.) Tapion taskukirja. 14. p. Hki, s. 7–9.
Puutavaran uitto vuonna 1958. – Virkesflottningen år 1958. Tilastokatsauksia n:o 7, s. 39–46.
Suomen puun käytöstä ja metsätaseista. Suomen puutalous n:o 3, s. 91–93, 96. (Jatk.) Suomen puutalous n:o 4, s. 151–157, kuv., kartt.

1960

Puutavaran uitto vuonna 1959. – Virkesflottningen år 1959. Tilastokatsauksia n:o 7, s. 40–47.
Puutavaran uitto vuosina 1948–1959. Uitetut, luovutetut ja talvehtineet puut vuonna 1959. Uittoyksikkö-km:n ja m^3 -km:n paljous sekä keskimääräinen uittomatka vuonna 1959. (Taulukoita.)
Suomen liikennetilastollinen vuosikirja 1960. Hki, s. 110–113.
Suomen puun käyttö, hakkuupoistuma ja kokonaispoistuma vesistöalueittain v. 1955. Suomen puutalous n:o 3, s. 87–88, 91–92, 95, 98–99, 104, kuv., kartt.
Suomen puun käytöstä sodan jälkeen. Summary: Post-war utilization of wood in Finland. Metsätaloudellinen aikakauslehti 77, s. 221–223, kuv.
Suomen puunkäyttö. (Taulukko.) Metsäkalenteri 1961, s. 67.
Suomen puunkäyttö sodan jälkeen. Metsä- ja uittotyönjohtaja n:o 4, s. 2.

1961

Puutavaran uitto vuonna 1960. – Virkesflottningen år 1960. Tilastokatsauksia n:o 7, s. 61–68.

1962

Maamme puun käyttö v. 1960 n. 7 milj. m^3 suurempi kuin hakkuusuunnitteen käyttöpuun määrä.
Katsaus puun käyttöömme vv. 1947–60. Metsälehti n:o 1, s. 1–2, kuv.
Puutavaran uitto vuonna 1961. Metsätaloudellinen aikakauslehti 79, s. 393–394.
Puutavaran uitto vuonna 1961. – Virkesflottningen år 1961. – Timber floating in 1961. Tilastokatsauksia n:o 7, s. 58–65.
Suomen puun käyttö vuosina 1947–61. Summary: Finland's wood utilization in 1947–61. Commun. Inst. For. Fenn. 56.3. 185 s., kuv., kartt.
Wood utilization, the logging quantities of forests and the total drain in Finland in 1950–1960. Commun. Inst. For. Fenn. 55.3. 12 s., kuv., kartt.
Överblick över virkesförbrukningen åren 1947–60. Skogsbruket 32, s. 24–25, kuv.

1963

Puutavaran uitto vuonna 1962. – Virkesflottningen år 1962. – Timber floating in 1962. Tilastokatsauksia n:o 6, s. 48–54.

1964

Puutavaran uitto vuonna 1963. – Virkesflottningen år 1963. – Timber floating in 1963. Tilastokatsauksia n:o 6, s. 45–53.

1967

Vaikeinta on ollut maaseudun puunkäytön selvittäminen. (Uranuurtajien kertomaa.) Metsätaloudellinen aikakauslehti 84, s. 306–307.

A METHOD FOR NATIONAL FOREST INVENTORY IN NORTHERN FINLAND

SIMO POSO and MATTI KUJALA

Seloste

MENETELMÄ VALTAKUNNAN METSIEN INVENTOINTIIN POHJOIS-SUOMESSA

HELSINKI 1977

ODC 587.5: 524.6
ISBN 951-40-0305-5
ISSN 0026-1610

POSO, S. & KUJALA, M. 1977. A method for national forest inventory in northern Finland. Seloste: Menetelmä valtakunnan metsien inventointiin Pohjois-Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 93 (1): 1—54.

The study concerns optimization of a national forest inventory by a combination of aerial photo interpretation and field measurements by a »grouping method». The material was collected in 1973. It consisted of 4 608 photo plots interpreted from aerial photographs of scale 1: 50 000 or 1: 60 000 and of 1 000 field plots. The sampling unit was a variable plot with basal area factor 1 (one tree tallied represented in square meter per hectare). In addition, the appreation of the method to the Sixth National Forest Inventory in North Finland, 1974—76 is described.

In comparison with other double sampling methods the grouping method is regarded as superior for inventories characterized by multiobjectivity and by the need for great flexibility in the calculation of results for any geographical district or for any special class of interest. In comparison with traditional systematic field sampling the grouping method is especially suited for an inventory of tree volumes for the total inventory district and also of other parameters for relatively small subdistricts.

Tutkimuksessa on pyritty ilmakuvatulkinnan ja maastomittausten optimaaliseen yhdistämiseen valtakunnan metsien inventoinnissa »ryhmitysmenetelmää» soveltamalla. Aineisto kerättiin 1973. Se käsitti 4 608 ilmakuvista mittakaavassa 1: 50 000 tai 1: 60 000 tulkittua koealaa. Näistä 1 000 mitattiin myös maastossa. Otosyksikkönä sekä maastossa että kuvatulkinnassa oli relaskooppikoeala, jossa luettu puu edusti 1 m^2/ha. Lisäksi tutkimuksessa on kuvattu, miten ryhmitysmenetelmää on sovellettu valtakunnan metsien kuudennessa inventoinnissa Pohjois-Suomessa 1974—76.

Ryhmitysmenetelmää voidaan pitää muita kaksivaiheisia otantamenetelmiä parempana, kun inventoinnilla halutaan tietoja useista tunnuksista (monitavoitteisuus) tai kun tuloksia pitää voida laskea mille tahansa maantieteelliselle alueelle tai muulle kiinnostuksen kohteena olevalle luokalle. Traditionaaliseen systemaattiseen otantaan verrattuna ryhmitysmenetelmä on parhaimmillaan, kun on kyse puuston kuutiomäärän arvioinnista koko alueelle tai muidenkin tunnusten estimoinnista suhteellisen pienille osa-alueille.

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

PREFACE

This paper has its origins in the Department of Forest Inventory and Yield of the Finnish Forest Research Institute. The objective is to develop a forest inventory methodology. Expectations were laid on the use of photo interpretation. A number of experiments with aerial photographs were made in 1970. Later on it was considered necessary to continue these experiments.

The study was made possible by the initiative and positive attitude of the head of the Department, Professor Kullervo Kuusela. Application of a new large scale design in practice also requires confidence in the attempt and preparation for misfortune. We are happy no unfortunate surprises have appeared in the experiments.

We are grateful for the help we have received in practical matters. Particular thanks are due to Tarmo Uusitalo and Pertti Virtanen for their photo interpretation work, to Matti Myllyniemi and through him to the National Board of Forestry (Metsähallitus) for a great part of the field work, to Ashley Selby for checking the text, to Terttu Halme for drawing the figures, and to Anja Leskinen for typing the manuscript.

The authors cooperated in the general planning of the study. Computer calculations have been made by Matti Kujala whilst Simo Poso is responsible for the writing.

Helsinki, May 1977

Simo Poso *Matti Kujala*

CONTENTS

1. INTRODUCTION 7
   11. Double sampling in the National Forest Inventory in Finland 7
   12. Principles of the grouping method 8
   13. Objectives of the study 9
2. MATERIAL 10
   21. Study areas 10
   22. Photo plots 10
      Sampling of photo plots 10
      Interpretation of photo plots 10
      Grouping of photo plots 13
   23. Field plots 13
      Alternative designs for drawing the field samples 13
      Practical arrangements 14
      Measurements on field plots 15
      Statistics based on the field material 15
   24. Dependence between photo and field estimations 15
      Volume of the growing stock 15
      Area classes 17
   25. Time studies 19
3. COMPARISON OF THE DESIGNS 20
   31. Final groups 20
   32. Plotwise comparisons 21
      Volume of growing stock 21
      Proportion of an area class 21
   33. Comparisons by tracts 24
      Volume of growing stock 24
      Proportion of an area class 24
   34. Time studies 26
   35. Efficiency 28
      Definition 28
      Variances 28
         Effect of group size 28
         Variance of mean volume 31
         Variance of proportion of an area class 31
      Estimates of efficiency 32
4. TOWARDS THE OPTIMUM APPLICATION 33
   41. Frame for the optimization studies 33
   42. Variance estimators 33
   43. Comparison of alternatives for the inventory of a large district 35
   44. Estimates for subdistricts 39
   45. Size of photo sample 39

5. DESIGN OF THE VI NATIONAL FOREST INVENTORY 41
51. Description of the design 41
52. Experiment with the design 44
53. Results 45
6. CONCLUSIONS 48
SUMMARY 51
REFERENCES 53
SELOSTE 54

1. INTRODUCTION

11. Double sampling in the National Forest Inventory in Finland

The National Forest Inventory, in its well organized form, started in Finland in the early 1920's. The two first inventories (1921—23, 1936—38) were based on systematic strip sampling and the third and fourth inventories (1951—53, 1960—63) on a combination of line survey and circular sample plots (Ilvessalo 1927, 1942, 1956, 1963). The fifth and sixth inventories (1962—70, 1971—76) are also combinations of a line survey and plot sampling, for their major parts. The constant lines were now in the form of tracts and relascopic plots have been used instead of circular sample plots. In addition, the work was organized on continuous basis (Kuusela and Salminen 1969).

The changes in society, especially in its cost structure and technical development have made it necessary to think of new designs in which the proportion of field work would be smaller than in earlier designs. The Forest Research Institute started experiments using aerial photographs for the forest inventory employing a method based on double sampling. The first experiments were made at Suonenjoki in 1967—68 and at Laanila in 1969. The experiments were then extended to the National Forest Inventory when the area of Inari, Utsjoki, and Enontekiö in northernmost Finland, about 3 million hectares in size, was surveyed by double sampling using the so-called »grouping method» (cf. Poso and Kujala 1971).

The experiments were succesful. Therefore a new study was planned in order to develop the grouping method, making it more optimal for the National Forest Inventory of North-Finland. The field work for the study was completed in 1973. The material obtained is used for this study. Further, it has already been used for a study concerning the applicability of Landsat 1 imagery for forest inventories (Kuusela and Poso 1975).

During the same year, 1973, a special application of the grouping method was started in the archipelago and coastal area of South-West Finland. The experiment was based on the idea that the systematic field sampling of the original forest inventory can be utilized, as such, as a part of double sampling. This would also offer a possibility to interpret the plots after field measurements. The results of that possibility for intensifying the forest inventory were published by Nyrhinen (1976).

As a result of experiments, the grouping method was also applied to the Sixth National Forest Inventory in North-Finland, a much larger district of about 8 million hectares. The design differed remarkably from that applied in 1970.

12. Principles of the grouping method

The grouping method is a modification of the original double sampling with stratification. The basic concepts of the method are given here by a simple illustration. The method has been described more thoroughly in the papers by Poso and Kujala (1971) and by Poso (1972).

The first phase of the grouping method is the sampling of photo plots. It has been assumed in this illustration that this is made by systematic even spaced sample of dots on aerial photographs. The photo plots are then interpreted for all the important forest characteristics the accuracy of which can be regarded as sufficient. The second phase is the drawing and measuring of field sample from the plots interpreted. This is done by sorting the photo plots into homogeneous groups in respect of all of the characteristics interpreted and by taking one photo plot from every group to be measured on the field (Fig. 1).

The figure is associated with the assumptions listed below:

1. The dots represent photo sample plots located systematically over the inventory area.
2. The figures above the dots represent the number of the homogeneous group to which the plot belongs. Homogeneity is defined by photo interpretation.
3. The circled dots are the plots, drawn at random, to be measured on the field.
4. The data of the field sample plots are extended to the photo sample plots as indicated by the arrows.

The field estimates are made and recorded independently for each field plot. The estimates are then extended to the photo plots of the respective homogeneous groups as illustrated in Figure 1. Consequently, every photo plot is also an independent unit in the calculation of results. This makes the method very flexible, which is important especially for Finnish National Forest Inventory.

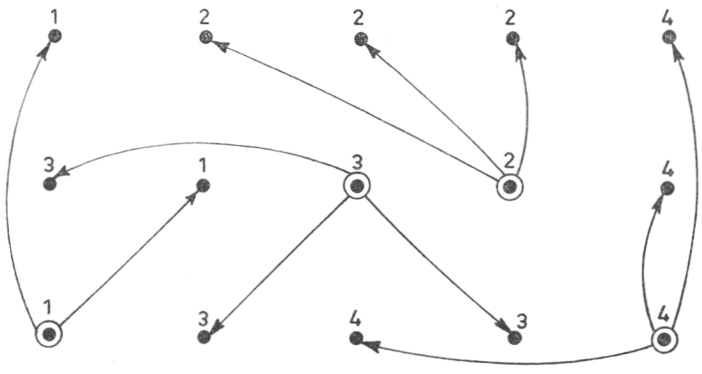


Fig. 1. Simple illustration of the grouping method principle.

13. Objectives of the study

The use of aerial photo interpretation for the National Forest Inventory in Finland is not a new idea (cf. Ilvessalo 1956 p. 17). The more systematic studies for a suitable methodology were, however, started quite late. The grouping method approach was presented at the end of the 1960s. First experiments on a large practical scale were made in 1970. The results have stimulated new experiments. This study can be ranked as one in the series of experiments referred to above and of those which hopefully will follow.

The objective of this study, in more detail, is to find the major application alternatives for the grouping method, to test these alternative with regard to the National Forest Inventory and make the right conclusions and suggestions for further applications and development. Although the scope is restricted, for sake of simplicity, to the National Forest Inventory, it is hoped that the results will serve other large scale inventories as well.

2. MATERIAL

21. Study areas

The study was aimed at developing the grouping method for the National Forest Inventory in Lapland. Accordingly, the material was collected at Rovaniemi (latitude about 66°30′) and Sodankylä (latitude about 67°30′). The material is within a district of about 130 km × 100 km. It has been coded into four parts (Fig. 2).

22. Photo plots

Sampling of photo plots

The aerial photographs used for the study were taken in 1971 from flying height of about 9 000 metres over the average field level to produce a scale of 1: 60 000. The scale of photography can be regarded rather small for forest inventory purposes. The quality of photographs was normal. Time lapse between the photography and field work was two years. This is not serious as changes in forests are slow under Lappish conditions.

The photos for study areas 1 and 2 were ordered as contact prints and for study areas 3 and 4 as enlargements to 1: 50 000. For each stereopair one photo was supplied with dots according to the scheme in Figure 3. The scheme was transferred photographically from a transparency to the positive prints. The scheme has shown to be valuable in drawing the samples and in locating the plots in the field.

Two designs were applied for the sampling of photo plots. Both of them consisted of equal number of photo plots per study area (Fig. 4). The total number of photo plots rose to 4 608, consisting of 1 152 plots per one study area.

Interpretation of photo plots

The photo plots were interpreted by three persons all of whom were regarded as specialists in the field work of the National Forest Inventory. Two of them had done this kind of photo interpretation earlier (persons a and b) whereas the third (person c) had not. Person a interpreted Study Area 1, Person b Study Areas 2 and 3 and Person c Study Area 4. A lens stereoscope with magnification power 2,8 was used for viewing and a parallax bar with micrometer was recommended for measuring the tree heights. Other aids, like visits on the field before or during the interpretation, were not applied.

A set of numerous data was taken from each photo plot. Not all were obtained by direct photo interpretation. Another important source was a map. The list below shows the items in more details:
General information:

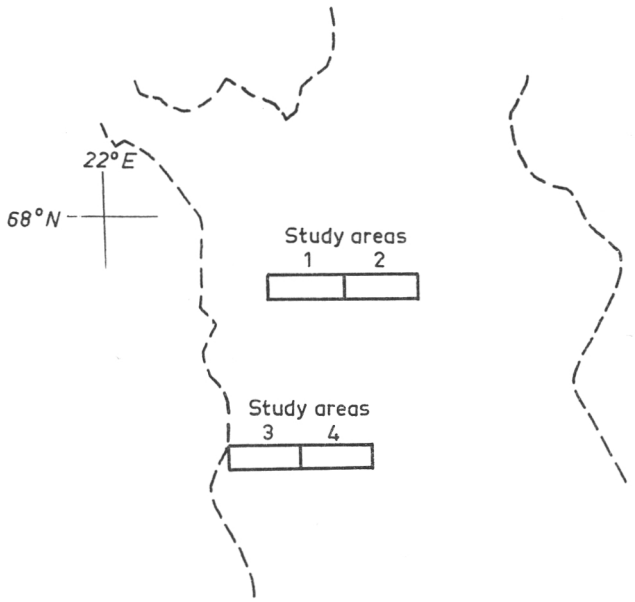


Fig. 2. Location and coding of study areas.

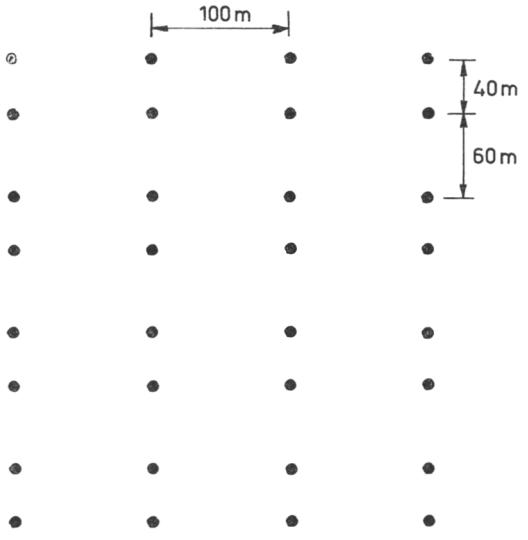


Fig. 3. A part of the dot grid scheme photographed on the aerial photographs.

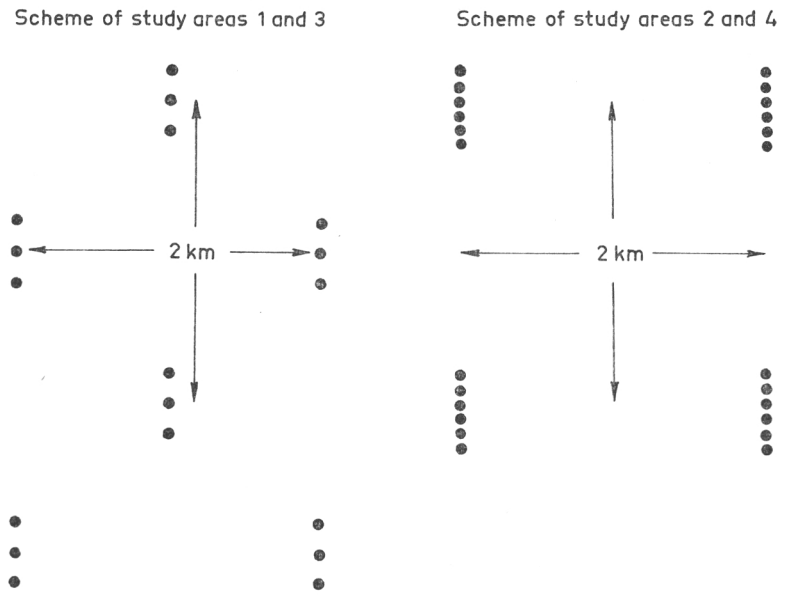


Fig. 4. Geographical distribution of photo plots by study areas.

1. year of interpretation
2. type of record: classifications, tree tally, . . .
3. interpreter
4. y- and x- coordinate of the tract
5. number of the photo plot in a tract
6. code expressing whether a plot is entire or divided
7. watershed area
8. sum of efficient day temperatures of the growing season
9. altitude of the plot above sea level
10. land form: plain, valley, slope, or top of a hill
11. direction of terrain inclination
12. commune (administrational unit)
13. forest ownership: private, state, forest industry, . . .
14. restrictions in the use of land (protection law, etc)
15. number of primary grouping districts (the term is explained later, see Fig. 17)

Stand characteristics:

16. land use class: forest land, poorly productive land, . . .
17. sub class: mineral soil, spruce swamps, pine swamps, . . .
18. mean height of trees belonging to the plot, in metres
19. basal area of trees, in square metres per hectare
20. volume of the growing stock, in tens of cubic metres per hectare
21. main tree species of the growing stock
22. treatment class, four alternatives only
23. nutrient class of soil, nine alternatives
24. state of drainage, two alternatives

Additional interpretations were:

25. minutes spent for interpretation of forest characteristics
26. land use class for nine plots with a spacing of 400 m × 400 m per a square of 1 km × 1 km. The plots belonged to a more intensive sample taken for estimation of the proportions of land use classes.

Grouping of photo plots

The purpose of grouping was to put photo plots into as homogeneous strata as possible with respect to all photo estimates. It is recommendable to make the grouping by subdistricts when large inventories are concerned. Accordingly, the photo plots were grouped independently for each of the four study areas. These subdistricts are called the primary grouping districts. The 1 152 plots of a study area were sorted into 72 groups. The mean number of photo plots in one group was then 16. The size of a group, however, was not constant from one group to another. The standard deviations of the group sizes (number of plots per a group) were 3,7, 2,9, 3,4, and 3,5 for the four study areas.

It was not possible to get the groups homogeneous for all of the photo estimates. In order of weight the estimates for grouping were; with exception of volume:

1. land use class
2. sub-class
3. code expressing whether a plot is entire or divided
4. treatment class
5. main tree species
6. nutrient content.

If the stratum, first obtained on the basis of the items above, was too small it was combined with one or few other strata which were close to it. If the variance of volume in a stratum was higher than acceptable the stratum had also to be combined with others and new groupings were made within the combination until the requirement for homogeneity with regard to volume was reached. If, again, the first stratum was too large it was divided into final groups with respect of volume estimates.

The programme for automatic grouping was not complete. Nor was it regarded feasible to obtains one. The plots which differed most from the others were reinterpreted. Thereby, mistakes in photo interpretation were found and corrected. Also changes in photo estimates had to be made for those plots where no errors in first photo interpretation was found in order to remove too small groups. Usually, three iterations were required.

23. Field plots

Alternative designs for drawing the field samples

The statistically sound application of the grouping method requires that the field plots are taken by unrestricted random drawing. This might be feasible for forest inventory of a district of some 10 000 hectares or smaller but for a national forest inventory it would cause unacceptably high costs for travelling from one plot to another. The alternatives considered here are:

Design 1 = restricted random drawing of field plots

Design 2 = systematic drawing of field plots.

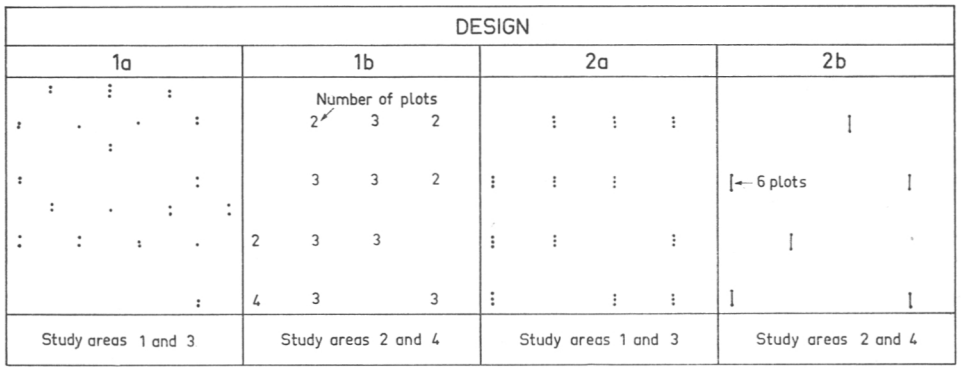


Fig. 5. Illustration of the geographic distribution of field plots in a tract of 8 km × 8 km by alternative designs.

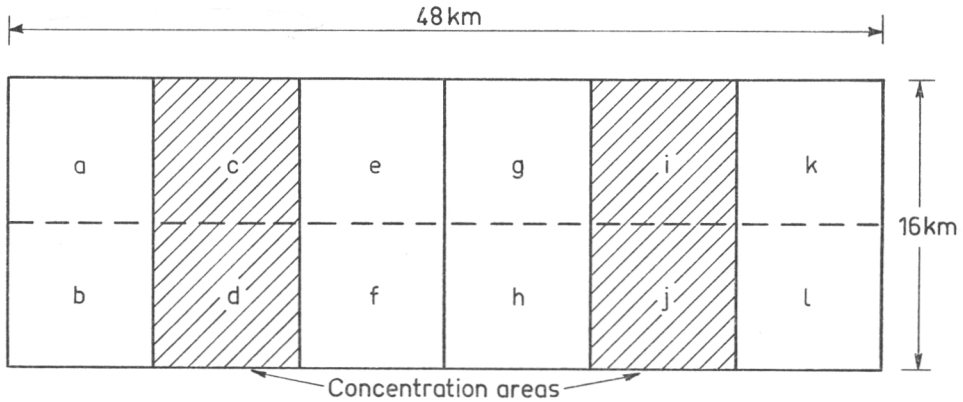


Fig. 6. The division of a study area into tracts and concentration areas.

The designs were applied with two alternatives in the geographical distribution of the photo plot (see Fig. 4). Accordingly, Design 1/a and 2/a refer to Design 1 or 2 with a cluster of three photo plots and Design 1/b and 2/b to Design 1 or 2 with a cluster of 6 photo plots. The examples of field samples are illustrated in Figure 5.

Practical arrangements

The study areas were previously divided into tracts for photo interpretation (Fig. 6). This is in accordance with the method of the Fifth and Sixth National Forest Inventories in Finland. The tracts each represent a square of 8 km × 8 km. The tract pairs c—d and i—j (see Fig. 6) are those which have been used for the concentration of field plots. This means that instead of allowing the field plots to be scattered over all of the study area they are concentrated into tracts pairs which are called »concentration areas».

Design 1 was applied to each study area independently. The concentration area for a field sample consisted of tract pair c—d as indicated in Figure 6. The procedures for obtaining the final field sample is illustrated here by a list of relevant working phases:

1. Grouping the photo plots of a study area (1 152 plots)
2. Groupwise listing of those plots belonging to the concentration area c—d. Every group had to have at least one plot belonging to the concentration area. If this was not achieved the group had to be combined with another group which had at least one plot belonging to the concentration area
3. Drawing a field plot for each group. This was made randomly from those plots belonging to the respective group and to the concentration area c—d. More than one field plot could be drawn for a group combination but not more than the number of groups in the combination.

The drawing of field plots for Design 2 did not cause any difficulties because it was made systematically and thereby independently from the grouping (see Fig. 5). The 72 field plots per a study area were placed into concentration area i—j (Fig. 6). However, the field plots and the groups had to be linked to each other. This was done along the same lines as in Design 1. A characteristic of Design 2 was that the number of group combinations was higher whilst some groups became represented by two or more field plots.

Measurements on field plots

The total number of field plots included in Designs 1 and 2 was 550. In addition, about an equal number of extra plots were measured in order to obtain material for confidence studies. The extra field plots were distributed over all of the 8 concentration areas and they were measured as the »original» plots.

The centre point of a field plot was located according to the dot on the aerial photograph. This defined the centre of the sample unit, a relascopic plot with BAF one; each tree tallied represented 1 m^2/ha in basal area. The trees were measured and the occular classifications were made according to the field instructions of the Sixth National Forest Inventory of Finland with some exceptions. For example, the increment borings were not made.

Each field plot had to have a complete set of field data. Calculations of the data were made using the computer programmes modified from those applied to the National Forest Inventory.

Statistics based on the field material

The applicability of the grouping method is a function of many factors. One refers to the conditions in the forests. Because of the northern location, the growth of trees in Lapland is only about one fourth of that in South Finland. The typical features of forests in Lapland are illustrated in Figures 7 and 8. The volume of forested areas is low and the proportion of poor forest and waste land is relatively high.

24. Dependence between photo and field estimations

Volume of the growing stock

The results of the photo interpretation were regarded here to belong rather to the material than to the results of the study. This was motivated by the fact that the objective of the study was not the accuracy of photo interpretation but the way the results of photo interpretation should be utilized.

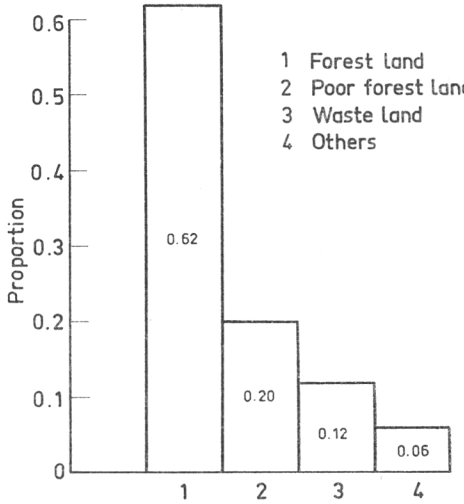


Fig. 7. The distribution of the field plots by land use classes.

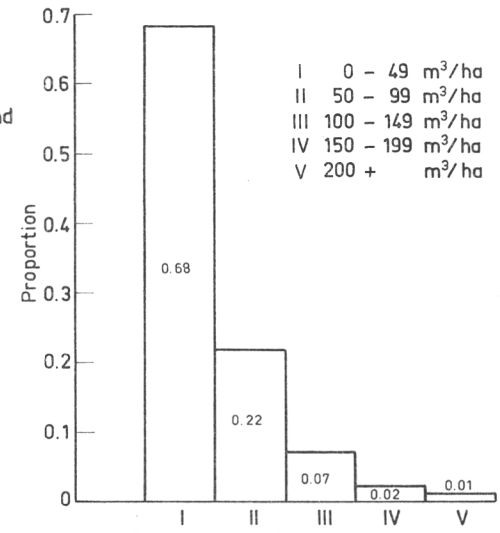


Fig. 8. The distribution of the field plots belonging to land use classes 1 or 2 by volume classes.

Table 1. Dependence between photo and field volumes (m^3/ha) within alternative tract combinations.

Study area	Tracts	No.of plots	Photo scale	Inter-preter	$\bar{y}$ (field)	s_y	$\bar{x}$ (photo)	$r_{(x,y)}$
					m^3/ha			
1	c,d	103	1 : 60000	a	37,4	30,6	47,3	,771
	i,j	70	"	a	37,5	32,0	41,5	,602
2	c,d	105	"	b	36,5	31,5	33,8	,688
	i,j	93	"	b	35,6	38,0	26,8	,687
3	c,d	108	1 : 50000	b	46,8	39,7	50,7	,621
	i,j	117	"	b	42,7	47,6	33,3	,861
4	c,d	131	"	c	45,7	52,9	34,1	,749
	i,j	120	"	c	57,8	48,2	33,4	,645
1	c,d,i,j	173	1 : 60000	a	37,0	31,1	42,8	,698
2	"	198	"	b	36,1	34,6	30,5	,672
3	"	225	1 : 50000	b	44,0	43,9	41,7	,692
4	"	251	"	c	51,3	40,9	33,8	,698
1, 2	"	371	1 : 60000	a+b	36,5	33,0	36,3	,672
3, 4	"	476	1 : 50000	b+c	47,9	47,8	37,5	,666
1,2, 3,4	"	847		a+b+c	42,9	42,3	37,0	,660

Table 2. Coefficient of correlation in relation to the number of tracts and photo interpreters.

Number of tracts	Coefficient of correlation	Number of interpreters
2	0,708	1
4	0,690	1
8	0,669	2
16	0,660	3

The quality of the photo interpretation of volumes is shown in Table 1. The unit of observation for the table was a plot which was estimated to be either forest or poorly productive land in the field. This stratum covers those plots which were located on those stands the mean annual wood production of which is at least 0,1 m^3/ha.

Table 2 shows the change in the accuracy of photo interpretations when a forest inventory district was made larger. At the same time, the number of photo interpreters required grew from one to three. The table shows that the larger the district the lower the coefficient of correlation. This was primarily due to the fact that the larger districts were interpreted by more than one interpreter. The larger personal differences in interpretation became evident when the items in columns $\bar{y}$ and $\bar{x}$ were compared.

The coefficients of correlation presented could not be regarded as high. For example, P o s o and K u j a l a (1971) reported a coefficient of 0,71 for northernmost Lapland for a large district in similar conditions with respect to geography and photo material. Some explanation as to the difference may lie in the sample unit used in the grouping. The unit of the study referred to above was a cluster of two relascopic plots 40 m apart, whereas only one relascopic plot was used in this study.

Area classes

An area class here refers to a stand characteristic which is measured on the nominal or ordinal level. For example, the distribution of total area into land use classes represents a typical result of this section.

The classes studied here are listed with a short explanation. The explanation refers to the way the class is defined in the field (cf. K u u s e l a and S a l m i n e n 1969 pp. 22—25):

1. Land use class: 1 = forest land, 2 = poorly productive land, 3 = waste land, 4 = others.
2. Sub land class: 1 = mineral site, 2 = spruce and birch swamp, 3 = pine swamp, 4 = open swamp on which it is not able to grow trees.
3. Site: 1 = very rich site, 2 = rich site, 3 = damp site, 4 = sub-dry site, 5 = dry site, 6 = barren site.
4. Treatment class: 1 = open regeneration and seed tree stand, 2 = seedling and sapling stand with standards, 3 = seedling and sapling stand, 4 = thinning stand, 5 = preparatory stand, 6 = mature stand, 7 = shelter wood stand, and 8 = low yielding stand.
5. Dominant tree species: 1 = pine, 2 = spruce, and 3 = deciduous.

The classification for land use class, sub-class and main tree species was the same in both field and photo estimations. The classifications for site and treatment classes were different which produced some difficulties when making comparisons between photo and field estimations.

Table 3. Dependence between area classes measured in the field and interpreted from aerial photographs.

A. Land use class

Study area			Field class				
			1	2	3	4	Total
1	Photo class	1	121	12	0	1	134
		2	8	26	5	3	42
		3	0	6	42	6	54
		4	0	0	0	11	11
		Total	129	44	47	21	241

Study area	No. of plots	Complete dependence		Coefficient of contingency
		Plots	%	
1	241	200	83	0,85
2	248	210	85	0,79
3	250	208	83	0,78
4	289	242	84	

B. Sub class

Study area			Field class			
			1	2	3	Total
1	Photo class	1	111	6	4	121
		2	1	4	2	7
		3	6	8	78	92
		Total	118	18	84	220

Study area	No. of plots	Complete dependence		Coefficient of contingency
		Plots	%	
1	220	193	88	0,74
2	242	206	85	0,77
3	238	185	78	0,67
4	261	184	70	

The contingency table technique was applied to the estimation of the dependence between photo and field classification by study areas. Tables were presented for four characteristics for Study Area 1 complete. For other study areas the dependence has been presented by fewer parameters (Table 3). The items of complete or very good dependence have been underlined in the contigency table.

Table 3 shows that there existed a distinct correlation between photo and field estimation for the four area characteristics. The results accorded fairly well with those obtained earlier, e.g. at Suonenjoki (P o s o 1972 p. 46). The differencies between the results of separate studies can be expected to originate largely from the differences in the distribution of population into area classes.

C. Site class

Study area			Field class					
			2	3	4	5	6	Total
1	Photo class	2	0	0	0	0	0	0
		3	9	5	1	5	0	20
		4	20	57	60	7	0	144
		5	4	8	11	4	1	28
		6	9	10	5	3	1	28
		Total	42	80	77	19	2	220

Study area	No. of plots	Complete dependence		Coefficient of contingency
		Plots	%	
1	220	110	50	0,51
2	239	129	54	
3	238	152	64	0,53
4	261	159	61	

D. Treatment class

Study area			Field class								
			1	2	3	4	5	6	7	8	Total
1	Photo class	1	1	0	5	1	0	0	2	2	11
		2	0	0	17	27	6	5	2	24	81
		3	0	0	0	4	7	2	0	2	15
		4	0	0	5	4	1	1	1	3	15
		Total	1	0	27	36	14	8	5	31	122

Study area	Number of plots	Complete dependence		Coefficient of contingency
		No.of plots	%	
1	122	67	55	0,51
2	265	82	31	
3	160	73	46	0,62
4	170	91	54	

The study of photo and field estimations of main tree species showed the coefficient of contingency for all of the four study areas, on average 0,202. This correlation was not significant. The result leads to the conclusion that it is not feasible to try to estimate that characteristic on the basis of pancromatic black and white photography at the scale of 1: 60 000.

25. Time studies

The total expenditure and the distribution of time was studied both for photo interpretation and for field work. The method applied to field work was to attribute one quarter of hour to that task which was being executed the full hour, quarter past, half past, and quarter to full hour.

3. COMPARISON OF THE DESIGNS

31. Final groups

The designs to be compared are those described in Section 23.

The photo plots were sorted into homogeneous groups independently for each study area as described in Section 22. The resulting »original groups» were common to both designs, Design 1 and 2. However, the original groups were not always applicable as such because they did not fulfill the requirement that one plot from every group at least had to belong to the concentration area and, in the case of Design 2, each group also had to be represented by a field plot taken systematically from a concentration area independently from the photo interpretation. This requirement resulted in changes in the original grouping especially for the application of Design 2.

Figure 9 shows that the final groups differed only slightly in their sizes with respect to the original groups when Design 1 was applied but very distinctly for Design 2. This is of great importance to the applicability of the designs.

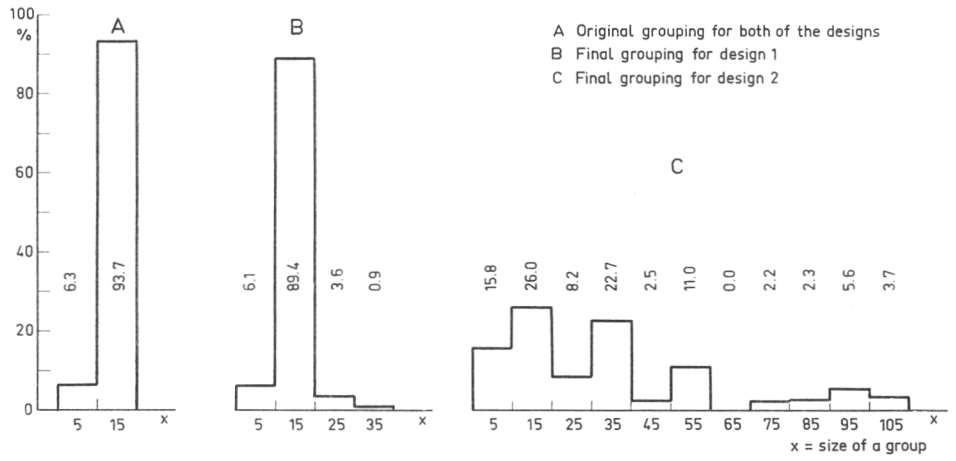


Fig. 9. Distribution of the photo plots interpreted as forest or poorly productive land by groups sizes.

32. Plotwise comparisons

Volume of growing stock

According to the principles of the grouping method, the data records obtained for a field plot through measurement or occular classification were transferred to all of the photo plots belonging to the respective groups (Fig. 1). Thus, both designs resulted in formally complete estimations based on field work for each plot interpreted from aerial photographs. For example, Design 1 gave complete estimations for all of the 192 plots in concentration area i—j (Fig. 6) employing estimations originating from field work in concentration area c—d. *Plotwise comparisons in this section consider the comparison of the transferred estimates with the respective »true» field estimates.* Evidently, the comparisons must be restricted to those plots which have been measured in the field.

When comparing the coefficients of correlation in Table 4 with those in Table 1 one can find that the correlation between photo interpreted and »true» volume was substantially higher than between »true» and transferred volume. This could be expected on statistical grounds but it may also indicate that either the groups have not been homogeneous in respect of photo interpretation of volume or there has been an inconsistency in photo interpretation within a study area or, similarly, within a primary grouping district.

Table 4 also indicates that Design 1 was better for the estimation of mean volumes than Design 2. The systematic deviations ($\bar{x}$—$\bar{y}$) were distinctly higher with Design 2. The origin of systematic deviations was suspected to lie in the plots which have been subject to cutting in the two years between photography and field measurements. This effect was found to be of about equal strength for both of the designs.

Proportion of an area class

The plot comparisons here were made by the technique applied in Section 24. Now, however, all of the estimates were more comparable because of the fact that the »true» and transferred estimates were always based on an equal classification.

The coefficients of contingency in Table 5 show that the transferred estimates were most reliable for land use class (C = 0,84), than for sub class and treatment class (C = 0,64 and 0,65) and least reliable for site class (C = 0,38). In the comparison of the coefficients, the number of classes, i.e. degrees of freedom, must be taken into consideration.

Table 5 shows that Design 1 had a little higher coefficient of contingency. This was consistent for all of the characteristics and thus may be of some significance. However, the items in the column »complete dependence» did not suggest any superiority of Design 1.

Table 4. Comparison of designs by the dependence of »true» (= y) and »transferred» (= x) plots volumes.

Study area	Design 1						Design 2					
	n	$r_{x \cdot y}$ [1]	$\bar{y}$	$\bar{x}-\bar{y}$	$s_{(x-y)}$	$n_{(cut)}$ [2]	n	$r_{x \cdot y}$ [1]	$\bar{y}$	$\bar{x}-\bar{y}$	$s_{(x-y)}$	$n_{(cut)}$ [2]
			m^3/ha						m^3/ha			
1	70	0,537	37,5	-2,5	31,0	1/8	103	0,621	37,0	- 3,2	25,5	3/0
2	93	0,512	35,6	-1,7	34,8	3/0	105	0,554	36,5	+15,9	42,2	0/0
3	117	0,614	42,7	-4,6	37,8	2/9	108	0,604	46,8	+14,7	47,8	8/2
4	120	0,549	57,8	-5,5	43,4	1/6	131	0,636	45,7	+ 3,2	41,0	16/5
Total	400	0,573	44,7	-3,8	37,8	7/23	447	0,557	41,8	+ 7,5	40,8	27/7

1) $r_{x \cdot y}$ refers to coefficient of correlation

2) $n_{(cut)}$ refers to the number of plots which have been cut partly or totally after the aerial photography according to "true" estimates/transferred estimates.

Table 5. Dependence between transferred and »true» estimates for area class by design.

Area characteristic of the study	Study area	Design 1			Design 2		
		No.of plots	Complete dep., % [1]	Coeff. of conting. [2]	No.of plots	Complete dep., % [1]	Coeff. of conting. [2]
Land use class (4 classes)	1 + 2	239	73	0,843	250	78	0,810
	3 + 4	275	83	0,863	264	73	0,837
Sub class (4 classes)	1 + 2	221	63	0,680	240	78	0,666
	3 + 4	245	62	0,724	254	53	0,479
Site class (5 classes)	1 + 2	221	27	0,510	237	39	0,473
	3 + 3	245	35	0,279	254	33	0,241
Treatment class (8 classes)	1 + 2	94	38	0,701	151	26	0,618
	3 + 4	158	22	0,637	147	22	0,637

1) Complete dependence is the percentage of those plots falling into diagonal of contingency table

2) Coefficient of contingency: $C = \sqrt{\frac{x^2}{x^2+n}}$, where

x^2 = chi-square and

n = number of observation units.

Table 6. Dependence of correlation between transferred and »true» estimates for area classes on Design 1 transference distance.

Characteristic of the study	Study area	Transferring within			Transferring between		
		No.of plots	Complete dep., %	Coeff. of conting.	No.of plots	Complete dep., %	Coeff. of conting.
Land use class	1 + 2	180	78	0,861	239	73	0,843
	3 + 4	206	78	0,848	275	83	0,863
Sub class	1 + 2	169	75	0,709	221	63	0,680
	3 + 4	181	70	0,618	245	62	0,724
Site class	1 + 2	169	53	0,553	221	27	0,510
	3 + 4	181	35	0,276	245	35	0,279
Treatment class	1 + 2	78	32	0,699	94	38	0,701
	3 + 4	121	31	0,668	158	22	0,637

The effect of the distance of the transference of field estimates on the accuracy of transferred estimates is illustrated in Table 6. »Transferring between» refers to transfers between concentration areas c—d and i—j (about 24 km) whilst »transferring within» refers to transfers of field estimates inside a concentration area. Those cases in which no true transferring was made, i.e. the transference distance was zero were eliminated. Comparisons between the columns did not reveal any significant differences.

33. Comparisons by tracts

Volume of growing stock

The areal unit for comparison in this section was a tract of size 8 km × 8 km. The total volume of the growing stock was estimated for each of the 48 tracts both by Design 1 and Design 2. Field measurements only dealt with 16 tracts (four tracts per a study area, cf. Fig. 6). Accordingly, the material for comparison consisted of those 16 tracts from which mean volumes were calculated by both of the two designs and by a third procedure the result of which was called »true volume».

As all of the 96 plots of a tract were not measured in the field, the »true volume», $\bar{y}$ (»true»), was calculated by the formula:

$$\bar{y}\ (\text{»true»}) = \frac{\left(\sum_{i=1}^{m} y_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right) / \sum_{i=1}^{m} x_i}{96}$$

where

y_i = volume of plot i, m³/ha, by field measurement
x_i = volume of plot i, m³/ha, by photo interpretation
m = number of plots measured in the field
n = number of plots in a tract (= 96).

The »true volumes» were, on average, 79 % based on field measurements. The results obtained by field measurements were enlarged by the ratio of the photo volumes of all 96 plots to the photo volumes of those plots measured in the field.

The best measure in Table 7 for comparing the designs is s_d. Accordingly, Design 1 with 3 plots per a cluster was the best and Design 2 with distance of transference of about 24 km the worst. Designs with three plots per a cluster were better than those with six plots and designs with short distance of transference were better than those with longer distances, as far as can be judged on the basis of the variances. The mean deviations were also calculated by an estimator in which the variation between group sizes had a large effect. The resulting estimates were 4,1 m³/ha for Design 1 with three plots per a cluster and 4,9 m³/ha with six plots per a cluster. This indicates that the experimental difference between the s_d values in the table, i.e. 4,4 and 6,7 m³/ha, was an overestimate.

Proportion of an area class

The proportions of eleven area classes were estimated by Design 1 and Design 2 using the same four applications shown in Table 7. As all the plots of the 16 tracts in the concentration areas were not measured in the field, the »true proportions» were estimated using the procedure explained for volume in previous section. The eleven area classes taken into study were:

Table 7. Mean deviations of tractwise mean volumes estimated by a design from those determined as »true» mean volumes.

Additional definition of the design	Design 1		Design 2	
	$\bar{d}$ [1]	s_d [2]	$\bar{d}$ [1]	s_d [2]
	m^3/ha			
3 plots / cluster	-2,3	4,4	3,6	9,2
6 plots / cluster	0,6	6,7	8,1	11,0
Transference within	0,1	5,5	4,0	7,3
Transference between	-1,7	5,8	7,8	12,3

1) $\bar{d}$ = mean deviation (systematic error)

2) s_d = square root of the mean of squares of deviations.

Table 8. Accuracy in estimation of area proportions by strata or stratum combinations measured by coefficient of variation, C_v (foot note 1). Results of eight tracts were included in each row.

Area class under study	Additional definition of the design	Design	
		1	2
		C_v	
Forest land (1 stratum)	3 plots per cluster	7,8	8,2
	6 -"- -"-	13,4	12,9
	Transference within	8,6	7,8
	-"- between	14,3	12,5
Forest and poorly productive land (1 stratum)	3 plots per cluster	5,7	7,2
	6 -"- -"-	8,3	12,9
	Transference within	4,1	13,8
	-"- between	9,9	7,4
Sub land class (4 strata)	3 plots per cluster	14,8	15,3
	6 -"- -"-	25,9	34,1
	Transference within	15,2	16,9
	-"- between	25,2	33,1
Treatment classes (4 strata)	3 plots per cluster	42,2	70,9
	6 -"- -"-	55,7	47,3
	Transference within	40,1	51,6
	-"- between	65,1	60,6

1) $C_v = 100 \cdot s_d / p_{"true"}$ where

s_d = square root of the mean of squares of deviations

$p_{"true"}$ = "true" proportion of an area class on respective eight tracts

1. forest land
2. forest land or poorly productive land
3. sub-land class 1
4. sub-land classes 1 + 2
5. sub-land class 3
6. sub-land classes 3 + 4
7. treatment classes 1 + 3
8. treatment classes 1 + 2 + 3
9. treatment classes 6 + 7
10. treatment classes 4 + 5 + 6 + 7.

Table 9. Comparison of standardized coefficients of variation, C_{vs}, and their standard deviation, s_c, for proportions of area classes.

Additional definition of a design	Design 1		Design 2		Design 1+2
	C_{vs}	s_c	C_{vs}	s_c	C_{vs}
3 plots/cluster	70,9	15,6	99,1	33,4	85,0
6 - " -	108,7	12,2	121,3	34,0	115,0
Total	89,8		110,2		100,0
Transference within	70,4	17,0	88,4	32,1	79,4
-"- between	113,8	18,4	127,4	25,0	120,6
Total	92,1		107,9		100,0

The estimate of a proportion, p_c, was calculated for each of the eight tracts using both designs. The standard deviation was then calculated by a formula:

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{8}(p_{ei} - p_{\text{»true»}i})^2}{8}}$$

The relative deviations, i.e. the coefficients of variation are shown for four area classes in average in Table 8.

For further consideration, the sets of coefficients of variation were standardized by noting the mean of the values of $100 \cdot s_d/p_{\text{»true»}}$ by 100. The results are shown in Table 9. They also show that Design 1 was superior to Design 2, three plots per a cluster was better than six plots and transference within concentration areas better than that between concentration areas.

34. Time studies

It is natural that the designs differ from each other in their requirement of total expenditure and the structure of working time on the field. For this study each quarter of hour was recorded on a sheet by the method described on Section 25. This procedure of systematic sampling worked well.

The plots in a square of 1 km $\times$ 1 km made a cluster. The number of clusters was dependent on the design. Design 1 with three photo plots per a cluster gave the highest number and respectively, Design 2 with six photo plots per a cluster the lowest number of field clusters. The exceptionally low numbers of field clusters 18 and 9 in Table 10 for Design 2 were due to Lake Kelontekemä and Rovaniemi Airport. The clusters falling on those locations were, for obvious reasons, not measured in the field.

The distances travelled in the field varied from 12,4 km to 67,0 km. In the systematic drawing all of the photo plots of a field cluster were measured in the field (see Fig. 5). This concentrated the field work to a few places and resulted in lower total travelling distances. The shortest distance in Table 10, 12,4 km, was due to the airport and

Table 10. Some parameters measured for time studies.

Design	Additional definition	Days spent on the field [1]	Number of field clusters measured [1]	Distance travelled on the field km [1]
1	3 plots/clusters	6 + 6	34 + 33	58,8 + 55,5
1	6 - " -	7 + 5	25 + 22	67,0 + 44,5
2	3 - " -	5 + 6	18 + 23	37,6 + 43,4
2	6 - " -	4 + 5	12 + 9	32,3 + 12,4

[1] Refers to the time spent on two concentration areas.

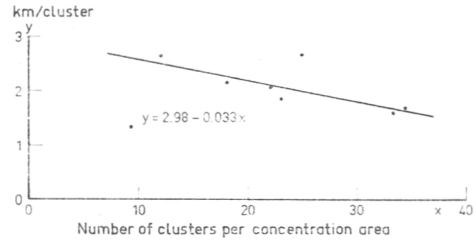


Fig. 10. Dependence between the distance of a field cluster from another and the number of field clusters in a concentration area.

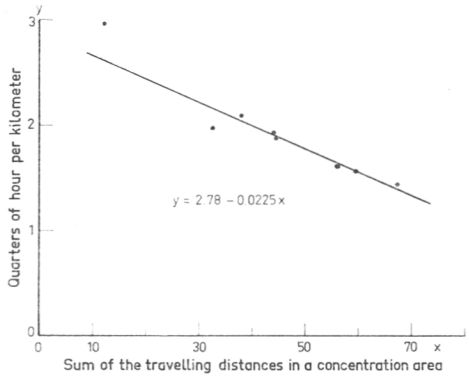


Fig. 11. Dependence between time and travelling distance in a concentration area.

the high density of roads which made the effective use of a car possible. The relatively high number of clusters for Design 1 was due to the fact that not all of the photo plots of a cluster were always measured in the field. This scattered the required number of field plots over more numerous clusters.

Because of different conditions in separate concentration areas, straight comparisons did not produce good results. Therefore, the comparisons were based on a framework of rules. The relevant dependencies are shown in Figures 10 and 11.

The regression line in Figure 10 was drawn subjectively. The concentration area with 9 cluster (lowest grade) was not taken at face value because of its exceptionally favourable road situation.

The construction of Table 11 became possible on the basis of Figures 10 and 11. Accordingly, of total time 44,5 % consisted of walking in the field. Other items were travelling with car (13,5 %), resting and lunching (7,1 %) and locating and measuring the plots (34,9 %). The time items, other than travelling from a cluster to another, were first assumed constant and independent on the design applied. The constant share of the total time was 97,7 quarters of an hour per concentration area. This constant was added to travelling time to produce the total time for the designs compared in the table.

Table 11. Total field work time and its elements for comparable designs.

Design and its additional definition	No.of clusters	Mean of trav. dist.	Total trav. dist.	Time per km	Total trav. time	Total time[1]	
		km		quarters			%
1 (3 plots/cl.)	33,5	1,707	57,18	1,49	85,2	182,9	115,8
1 (6 -"-)	23,5	2,087	49,04	1,67	81,9	179,6	113,7
2 (3 -"-)	21,5	2,163	46,50	1,73	80,4	178,1	112,7
2 (6 -"-)	11,0	2,562	28,18	2,14	60,3	158,0	100,0

[1] See the text.

The differences in time expenditure between separate designs, as shown in Table 11, can be regarded as being too small. This is because items other than travelling were assumed constant. Yet, if the total time was increased, time for lunching, resting, etc could be expected to increase, too. When this was taken into account, the relative measures for total time were estimated as follows:

Design 1 with 3 plots per a cluster 123
» 1 » 6 » » » » 120
» 2 » 3 » » » » 118
» 2 » 6 » » » » 100

35. Efficiency

Definition

Efficiency is here defined as a relative measure, for comparing the two designs. The efficiency should, of course, be measured, against all the objectives of the forest inventory. Here, however, the efficiency has been studied for some forest characteristics independently. The definition for efficiency is accordingly:

$$E_{a/b} = V_b/V_a \mid C_a = C_b, \text{ or} \qquad (1)$$
$$= V_b \cdot C_b/(V_a \cdot C_a), \text{ where}$$

$E_{a/b}$ = The efficiency of design a in relation to the efficiency of design b
V_a, V_b = Variance of the estimate for design a, b
C_a, C_b = Total cost of inventory by design a, b.

Variances

Effect of group size

The estimators of double sampling for the variance of the mean and for variance of the area proportion are by some simplifying assumptions (Cochran 1963 p. 333):

$$v(\bar{y}) = \sum_{h=1}^{L} \frac{w_h^2 \, s_h^2}{m_h} + \frac{1}{n} \sum_{h=1}^{L} w_h \, (\bar{y}_h - \bar{y})^2 \qquad (2)$$

$$v_{(p)} = \sum_{h=1}^{L} \frac{w_h^2 \, P_h \, (1-p_h)}{m_h - 1} + \frac{1}{n} \sum_{h=1}^{L} w_h \, (p_h - p)^2 \qquad (3)$$

where

w_h = estimate of proportion of stratum h
s_h = estimate of standard deviation for stratum h
m_h = number of field plots in stratum h
n = number of photo plots
$\bar{y}_h$ = estimate of mean of stratum h
$\bar{y}$ = estimate of the population mean
L = number of strata
p_h = estimate of the proportion of an area class in stratum h
p = estimate of the proportion of an area class for the population.

It can be concluded from the estimators that the variation in the strata proportions affects the final variance estimate: the more the strata proportions vary the higher are the variances on the assumption that variances within strata stay constant. In the grouping method, the groups are substituted for the strata. As seen in Figure 9, the designs differ greatly in the variation of group sizes.

If the variances within groups are assumed equal and the last term of Equation 2 and 3 is ignored as a term of minor significance, the variance ratios of comparable designs are calculated as:

$$v(\bar{y},a)/v(\bar{y},b) = \sum \frac{w_h^2}{m_h} \, (a) / \sum \frac{w_h^2}{m_h} \, (b) \qquad (4)$$

The estimates calculated by the formula showed that the variance of Design 2 was 1,98 times that of Design 1. This difference can be explained as originating from the differences in group size.

The calculations, Equation (4), were also made by concentration areas. The number of field plots, m_h, then referring to the number of groups, as shown in Table 12. The table shows large differences between designs. The importance of these differences in the estimation of forest characteristics for a subdistrict, such as a concentration area, are illustrated in Table 13.

Tables 12 and 13 show that transference of field data from systematically drawn plots outside the concentration area easily leads to very uneven group sizes within the subdistrict concerned and thereby relatively high variance estimates.

Table 12. The average distribution of photo plots estimated as forest or poorly productive land in a concentration area.

Size[1] of group	Design 1		Design 2	
	Transf.of 24 km	Short transf.	Transf.of 24 km	Short transf.
	No. of photo plots, % and no. of groups in parenthesis			
1	9,0 (49)	8,8 (54)	5,7 (37)	8,3 (45)
2	13,7 (37)	15,3 (47)	8,0 (26)	16,3 (44)
3	13,8 (25)	17,5 (36)	8,3 (18)	21,1 (38)
4	13,3 (18)	22,1 (34)	12,4 (20)	14,0 (19)
5	13,8 (15)	9,7 (12)	10,0 (13)	13,9 (15)
6	12,2 (11)	9,7 (10)	5,6 (6)	7,8 (7)
7	11,6 (9)	4,6 (4)	6,5 (6)	6,5 (5)
8	3,0 (2)	5,2 (4)	4,9 (4)	2,9 (2)
9	1,7 (1)	2,9 (2)	2,8 (2)	3,3 (2)
10	5,5 (3)	1,6 (1)	7,7 (5)	3,7 (2)
11			5,1 (3)	
12			5,6 (3)	2,2 (1)
13	2,4 (1)			
14			2,2 (1)	
15			2,3 (1)	
16		2,6 (1)	4,9 (2)	
18			2,8 (1)	
34			5,2 (1)	
Total	100,0 (171)	100,0 (205)	100,0 (149)	100,0 (180)

[1] Size of group means the number of photo plots in a concentration area belonging to a specific group. The average size of group in study area is 16, in concentration area, theoretically, 16/6 = 2,67.

Table 13. Relative variances of estimates for concentration areas (8 km × 16 km) based on differences in group sizes.

Design	Additional definition	Relative no. of groups[1]	Relative variance
1	Transference of 24 km	100,0	100,0
1	Short transference	119,9	92,5
2	Transference of 24 km	87,1	179,2
2	Short transference	105,3	91,2

[1] Refers to a number of groups represented in a concentration area.

Table 14. Relative variances of mean volumes.

Study area	n	Design 1	Design 2
		Variance	
1	840	100	361
2	835	100	196
3	917	100	167
4	878	100	261
Total	3470	100	246

Variance of mean volume

It was assumed in Section 35 that the variance within groups is constant and independent of the group size. It is not so in reality. When the size of a group increases the variance within a group also tends to increase. In order to take this into account, Equation (5) was applied (cf. P o s o 1972 p. 35):

$$v_{\bar{y}} = \frac{1}{n^2} \Sigma\, n_h^2 \,(s_{y\,.\,x}^2 + b_{y\,.\,x}^2\, s_{xh}^2) \qquad (5)$$

where

$v_{\bar{y}}$ = estimate of variance of mean volume
n = number of photo plots belonging to land use class 1 or 2 in a study area
n_h = number of photo plots in group h
$s_{y\,.\,x}$ = standard deviation of field volumes from the regression line
$b_{y\,.\,x}$ = coefficient of regression
s_{xh} = standard deviation of photo volumes in group h.

The results are given in Table 14.

Table 14 suggests that the variance of volume estimates for a study area of 16 km × 96 km are 2,46 times greater for Design 2 than for Design 1. The difference between this variance ratio and 1,98 obtained by Equation (4) revealed that the heterogeneity in group sizes produces an increase in variances within groups.

Variance of proportion of an area class

An endeavour was made to get the groups homogeneous in terms of both area classes (land use class, treatment class, etc) and of volume of growing stock. Most weight in the area classes was given to land use class, sub class, and to treatment class in this order. Care was also taken that photo plots which differred remarkably in respect of site in photo interpretation did not fall into same group.

Table 15. Relative efficiencies of inventory designs.

Design	Additional definition	Time of field work	Efficiency in estim. of	
			Mean volume	Area proportion
1	3 plots/cluster	123	2,21	1,78
1	6 - " -	120		
2	3 - " -	118	1,00	1,00
2	6 - " -	100		

The procedure applied to mean volume by Equation (5) was not used for comparison of designs in the estimation of proportions of area classes. It could be concluded, however, that the variance ratios are very close to those obtained by Equation (4), i.e. 1,98 for a primary grouping district and a little smaller for smaller districts.

Estimates of efficiency

The efficiency was defined (Equation 1) by assumption that the total costs are equal for the designs compared. This assumption, however, was not true for the material of this study (see Section 34). This was considered by the assumption that the variance of an estimate is inversely dependent on the total time of field work. Hence, it was possible to derive relative efficiencies for the designs being compared. The results are shown in Table 15.

Table shows that Design 1 (grouping method with restricted random drawing of field plots) is superior to Design 2 (grouping method with systematic drawing of field plots) both in the estimation of mean volume and proportions of area classes.

4. TOWARDS THE OPTIMUM APPLICATION

41. Frame for the optimization studies

Design 1 with 3 plots per a cluster has been shown to be superior to the others. Therefore this was the design the application of which was to be optimized. The study was based on simulation on the basis of nine application alternatives. The alternatives were classified into three main categories (A, B, and C) and three subcategories (1, 2, and 3) in the following way:

A. Photo sample is not concentrated
B. Photo sample is concentrated into every two tracts of 8 km $\times$ 8 km
C. Photo sample is concentrated into every four tracts
1. Field work is not concentrated
2. Field work is concentrated into every two tracts
3. Field work is concentrated into every four tracts.

The optimization has to be seen against the objectives of the forest inventory and the forest conditions. The size of the district, for example, may be 100 hectares or some millions of hectares. The forest characteristic of most interest, again, can be the total volume of forest growing stock or the quality of plantations, etc.

Optimization here means the way the design should be applied to meet the objectives most effectively employing the definition of the concept efficiency as given in Section 35. The conditions for the forest inventory in simulations are primarily those given in study material (Chapter 2). The optimization has been restricted to the estimation of only two forest parameters, the total volume and the proportion of forest land.

42. Variance estimators

The variance estimators (2) and (3) are not applicable to the grouping method, because only one field unit is to be taken from a group. For alternative A 1, for which no concentration either in photo or field sample was used, the variance estimators (2) and (3) for proportions (noted by p) and means (noted by $\bar{y}$) were modified into form:

$$v_{(p)} = \sum_{j=1}^{L} \frac{m_j}{m_j - 1} p_j (1 - p_j) \sum_{h=1}^{m_j} w_{jh}^2 + \frac{g_1}{n} \sum_{j=1}^{L} w_j (p_j - p)^2 \quad (6)$$

and

$$v(\bar{y}) = \sum_{j=1}^{L} s_j^2 \sum_{h=1}^{m_j} w_{jh}^2 + \frac{g_1}{n} \sum_{j=1}^{L} \sum_{h=1}^{m_j} w_{jh} (\hat{y}_h - \bar{y})^2 \quad (7)$$

where

L = number of groups combinations
m_j = number of field plots in group combination j
= number of groups in group combination j
p_j = proportion of area class based on field plots in group combination j
g_1 = coefficient of correction based on systematic placing of photo plots
n = number of photo plots
w_{jh} = proportion of group h belonging to group combination j based on photo plots
$= n_{jh}/n$
w_j = n_j/n
s_j^2 = estimate of variance of y within a group belonging to group combination j.
Note assumption: variance within group is equal for each group belonging to the same group combination. The variance is estimated from the residual variance unexplained by photo interpretation e.g. $s_j^2 = v_{y \cdot x}$
$\hat{y}_h$ = regression estimate of y for a field plot of group h.

If the groups can be assumed equal in size by group combinations the estimators can be simplified by w_j for w_{jh}. This would mean that one sigma (summation) can be dropped.

The alternatives B and C, in which the photo sample is concentrated into every two or four tracts, can be considered as two stage samples. The sample of stage 1 consists of the 8 km × 8 km tracts and that of stage 2 of the plots within the tracts. The estimators for mean and proportion can be expressed accordingly as:

$$\bar{\bar{y}} = \sum_{i=1}^{k} \bar{y}_i / k, \text{ and} \quad (8)$$

$$\bar{p} = \sum_{i=1}^{k} p_i / k, \text{ where}$$

$\bar{y}_i$ = the mean of a tract i
k = the number of tracts within the inventory district
p_i = the proportion of an area class in tract i.

The estimators for variance are respectively:

$$v_{\bar{\bar{y}}} = v_{\bar{\bar{y}}w} + v_{\bar{y}bt}, \text{ and} \quad (9)$$

$$v_{\bar{p}} = v_{\bar{p}w} + v_{\bar{p}bt} \quad (10)$$

The first term on the right side of the estimators (9) and (10) represent the variance within tracts and they are estimated by Equations (7) and (6). The second term represents the variance between tracts. The equations for the second term variances are:

$$v_{\bar{y}bt} = \frac{g_2}{k} v_{\bar{y}bt} (1—f), \text{ and}$$

$$v_{\bar{p}bt} = \frac{g_2}{k} v_{pbt} (1—f), \text{ where}$$

g_2 = coefficient of correction produced by systematic placing of tracts
$v_{\bar{y}bt}$ = the variance of tractwise means
f = the proportion of the number of tracts of the sample from that of population
v_{pbt} = the variance of tractwise proportions of an area class.

The coefficient g_2 produced by the systematic placing of sample units depends on the autocorrelation of the units. This means that g_2 is not equal for all of the characteristics. Another difficulty is that there is no unbiased estimator for g_2. By application of Matérn's formula (M a t é r n 1960) and estimators for random sampling the value of g_2 varied between 0,34 and 0,45.

43. Comparison of alternatives for the inventory of a large district

The estimation of efficiency requires data for costs and variances. The items for total cost C are here:

X 1 = total cost of photo interpretation
X 2 = location and measuring of the field plots
X 3 = travelling from a sampling unit to another in the forest
X 4 = resting and lunching
X 5 = travelling to the first working place of a day and back from the last place
C = X 1 + X 2 + X 3 + X 4 + X 5.

The assumptions for the simulation are listed below. The essential part is based on empirical results given in Chapter 3.

1. The sampling ratio of photo and field plots, n/m = 8.
2. The sampling unit is a cluster with three relascopic plots as in the study material and they are placed systematically, one per two square kilometers (cf. Fig. 4, p, 12).
3. The coefficient of correlation between photo and field estimations of plots for volume of forest growing stock, m^3/ha, on forested area is 0,74.

4. The proportion of forested area is 0,70 (empirical result).
5. The total variance of plot volumes, m³/ha, is 1 200 (empirical result).
6. The variance $v_{\bar{y}bt}$ equals 60 (empirical result).
7. The variances $v_{\bar{y}w}$ and $p_{\bar{p}w}$ grow with 20 % for the tracts which do not have any number of field plots. (Empirical result from tractwise mean volumes indicated an increase of only 11 %. Observing correlation coefficients between estimated and true plot values it could be estimated that the respective increase in $v_{\bar{y}w}$ is 30 %. Consequently, 20 % represents the average.)
8. The proportion of forest land, $\bar{p} = 0{,}54$ (empirical result).
9. The variance $v_{pbt} = 0{,}0191$ (empirical result).
10. The size of field cluster equals 1,96 plots in average (empirical result).
11. Photo interpretation takes 5 minutes per a plot (15 min./a cluster) in total, i.e. interpretation + handling + marking. The daily cost of photo interpretation equals 150 Fmk (150,—). (The time for effective photo interpretation was 2,04 minutes per a plot. The means for three interpreters were 2,18, 1,79, and 2,38 minutes.)
12. The daily cost of field crew (1 + 2 persons) is 700 Fmk.
13. The length of a working day of a field crew is 8 hours + one hour for travelling by car. Lunching and resting are included.
14. Walking inside a cluster, location of the plots of a cluster and measuring of the plots takes 0,0662 days per a cluster (= 32 minutes, empirical result).
15. Walking from one cluster to another takes 0,0602 days per a cluster if the density of clusters is 0,2870 clusters per sq. km, on average. If the average density differs from the above, the 0,0602 should be multipled by a factor $\sqrt{0{,}2870/d_r}$, where d_r = the relevant average density of field clusters (empirical result, cluster other than forest, poorly productive land or waste land are neglected).
16. Resting, lunching and miscellaneous accounts for 13 % of X 2 and X 3 (X 4 = 0,13 (X 2 + X 3), empirical result).
17. Travelling to the first working place of a day and back from the last place takes 2 hours per a day (empirical result). One hour of that is not included in the length of working day.

According to the above, all walking in the field takes 61 % and location and measuring of plots 39 % of time (resting and lunching excluded). The average distance from one cluster to another was 1,71 km and the average walking velocity from one cluster to another was 2,9 km/h.

The variances, total costs and relative efficiencies have been calculated for the nine alternatives on the assumption that the total area of inventory is 640 000 hectares = 100 tracts of 8 km × 8 km. The results are in Table 16. In calculations, it has been assumed that the variances are inversily proportional to total costs.

Table 16. Relative efficiencies of the nine alternative designs.

Alternative	Total[1] cost Fmk	Estimation of total volume with r = 0,74			Estimation of proportion of forest land		
		$v_{\bar{y}}$	Relative efficiencies by columns		$v_{p} \cdot 10^{-6}$	Relative efficiencies by columns	
A1	109 350	,5188	1,000	1,000	79	1,000	1,000
A2	92 446	,5581	1,100	1,000	84	1,112	1,000
A3	80 494	,5778	1,220	1,000	87	1,234	1,000
B1	54 675	1,2416	1,000	,836	233	1,000	,678
B2	46 223	1,3202	1,112	,845	244	1,130	,689
B3	40 247	1,3596	1,241	,850	250	1,266	,696
C1	27 338	2,8850	1,000	,719	573	1,000	,551
C2	23 112	3,0425	1,122	,734	593	1,143	,567
C3	20 124	3,1213	1,256	,740	606	1,285	,574

[1] 1 Fmk = 0,25 US dollars. Total cost refers to a district of 640 000 hectares = 100 tracts.

The term $v_{\bar{y}bt}$ of Eq. 9 for Table 16 was estimated by Matern's formula. The respective variances for Alternative B and C were 34 and 45 % of that obtainable by unrestricted random drawing. The respective percentages for the proportion of forest land were 40 and 45 (cf. Eq. 10).

Table 17. Some characteristics of an inventory obtained by alternative designs when the tota cost amounts to one million Fmk (about 250 000 US dollars).

Alternative	Total area of inventory in million hectares	Total volume for		Proportion of forest land for	
		Total area	An area of one million hectares	Total area	An area of one million hectares
		$100 \times s_{\bar{y}} / \bar{y}$		$100 \times s_{\bar{p}} / \bar{p}$	
A1	5,85	,768	1,86	,544	1,32
A2	6,92	,733	1,93	,516	1,36
A3	7,95	,696	1,96	,490	1,38
B1	11,71	,840	2,88	,661	2,26
B2	13,85	,797	2,96	,622	2,31
B3	15,90	,755	3,01	,587	2,34
C1	23,41	,906	4,38	,733	3,55
C2	27,69	,855	4,50	,686	3,61
C3	31,80	,808	4,56	,647	3,65

Total area = 1 000 000 x 0,64 / total cost

$100 \times s_{\bar{y}} /$ total area = $(v_{\bar{y}} \times$ total cost / 1 000 000$)^{\frac{1}{2}} / 0{,}31$

" / million ha = $(0{,}64 \times v_{\bar{y}})^{\frac{1}{2}} / 0{,}31$ (0,31 refers to mean volume divided by 100).

Table 18. Comparison of the nine alternative designs in the inventory of total volume on the assumption of three alternative coefficients of correlation. Total cost of inventory equals 1 million Fmk.

Alternative	r = 0,60	r = 0,74	r = 0,86	r = 0,60	r = 0,74	r = 0,86
	$100(s_{\bar{y}} / \bar{y})$ for total area [1]			$100(s_{\bar{y}} / \bar{y})$ for an area of one million ha [1]		
A1	,883	,768	,633	2,136	1,858	1,532
A2	,844	,733	,601	2,221	1,929	1,581
A3	,803	,696	,569	2,263	1,961	1,605
B1	,946	,840	,719	3,238	2,875	2,460
B2	,899	,797	,678	3,347	2,964	2,521
B3	,854	,755	,640	3,406	3,010	2,551
C1	1,005	,906	,795	4,862	4,383	3,844
C2	,953	,855	,746	5,013	4,495	3,923
C3	,902	,808	,702	5,087	4,558	3,961

[1] Total area and area of one million hectares refer to those of Table 17 and explained in the text.

Table 16 shows that the efficiency of a design increased in the inventory of total volume and proportion of forest land when the field work was concentrated. This is opposite to the concentration of the photo sample. The efficiency decreases from A to C by about 27 % for total volume and even more for proportion of forest land.

The efficiency is not only criteria concerning the applicability of the alternatives. When the inventory must be made using restricted resources one needs to know how large a district and with what confidence it is possible to obtain information with a given amount of money. This information is given in Table 17.

The data in Table 17 help the decision maker to compare the alternatives under specific requirements for accuracy and budgetory limitations. It can be found by comparing Tables 16 and 17 that the best alternative is not necessarily the most efficient in the sense of the word applied here (see Equation (1)).

The data in Tables 16 and 17 were also calculated for total volume on the assumption that the coefficient of correlation, r, of photo and field plots is either 0,60 or 0,86 instead of 0,74. The results shown in Table 18 enable an examination of the effect correlation has on efficiency. The increase in the efficiency when r goes from 0,60 to 0,74 is within 22—33 %. The respective increase for a change of r from 0,74 to 0,86 varies between 30 and 50 %.

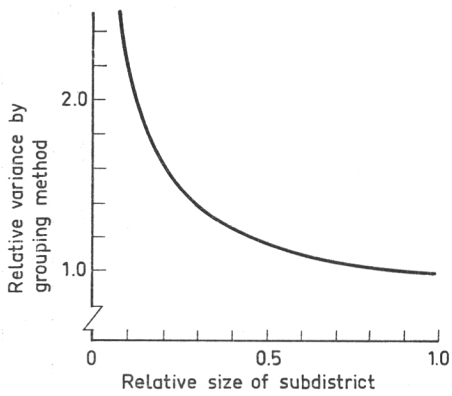


Fig. 12. Increase of variance of mean, when results are calculated for a portion of a primary grouping district (Variance between groups ignored).

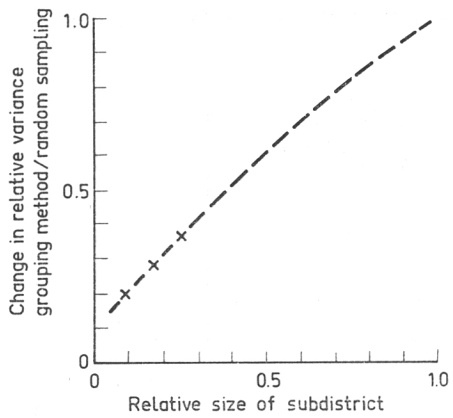


Fig. 13. The relative change in variance by the grouping method with respect to that of random sampling when the district within a primary grouping district decreases and when the variances for the total district are assumed equal (Variance between groups ignored).

44. Estimates for subdistricts

A primary grouping district can be regarded as an independent element in the inventory of large forest areas. Inventory results are also often calculated for smaller districts. These parts are independent of the borderlines of primary grouping districts. One can easily conclude that the number of groups in a subdistrict in relation to the total number of groups in the primary grouping district is notably higher than the proportion of subdistricts would suggest.

The fact referred to above means that the grouping method is able to give relatively good results also for small districts. Other fact, which is opposite in effect, is that the size of groups varies more than in the whole primary grouping district. Both effects were taken into account when the variances were experimentally calculated as a function of the size of subdistrict and when the variances were compared with those by simple random sampling (see Figure 12 and 13).

Figures 12 and 13 show that the grouping method is relatively efficient especially when the inventory results are calculated for subdistricts. This conclusion would also be true if the grouping method was compared with systematic field sampling methods. Another observation, almost selfevident, is that the concentration of photo samples were less favourable when the results of small subdistricts were given more weight.

45. Size of photo sample

The optimum ratio of the number of photo and field plots depends on the correlation and cost relations between photo and field plots. As these dependencies

Table 19. Differences, d, in percentages of land use classes obtained by comparable samples for tracts, i.e. for districts of 6 400 hectares.

Land use class or combination of classes	Samples compared (see text)							
	P1-S1		P2-S2		R1-S1		R2-S2	
	$\bar{d}$	$s_{\bar{d}}$	$\bar{d}$	$s_{\bar{d}}$	$\bar{d}$	$s_{\bar{d}}$	$\bar{d}$	$s_{\bar{d}}$
	Per cent from the result of Sample S							
Forest land	2,7	5,2	4,0	6,7	3,7	6,9	1,8	9,1
Poorly prod. land	-2,3	5,1	0,8	5,1	-1,5	8,2	1,1	6,9
Waste land	-0,1	2,1	-3,4	5,3	-0,4	4,8	-1,5	7,2
Others	-0,3	1,2	-1,4	2,0	-1,8	3,2	-1,4	3,8
Pooled	0,0	3,4	0,0	4,8	0,0	5,8	0,0	6,8
Forest and poorly productive land	0,4	2,9	4,8	5,3	2,2	4,8	2,9	6,9

are not equal for the characteristics to be inventoried, the optimum ratios differ from one characteristic to another. From practical point of view the simplest way is to apply only one ratio for all characteristics, as has so far been done in this study.

The characteristic which differs greatly from the others in terms of the optimum ratio is land use class. Its estimation is fairly confident and cheap from the aerial photographs. This suggested an experiment of a larger sample of photo plots to estimate the area proportions of land use classes.

Three sizes of samples of photo plots were employed experimentally, one larger, one equal and one smaller than the sample described by Figure 4. The larger sample was based on the nine plots per the square described in page 13 (item 26), and the smaller has been described in connection with the resultant table.

The differences in the proportions based on direct photo interpretation are shown in Table 19. Sample P 1 refers to that of Figure 4 with 3 plots in a cluster and sample P 2 to that with 6 plots in a cluster. Sample R 1 and R 2 refer to the designs above with one, central, plot in a cluster. Sample S 1 and S 2 refer to a design in which a cluster of three plots or, respectively, a cluster of six plots was substituted by a cluster of nine plots as described in item 26, p. 13. The number of plots, by samples, was: P 1 768, P 2 768, R 1 256, R 2 128, S 1 2 304, and S 2 1 152.

It is reasonable to assume that the most reliable proportions were those obtained by Samples S 1 and S 2. The proportions were calculated by all the three samples tractwise. The deviations of proportions of Samples P and R from those of Samples S are illustrated in Table 19. The results gave a good reason to conclude that intensification of photo sampling separately for the estimation of land use classes is advisable. The requirement to eliminate the possibility to bias is important in the arrangements, however.

5. DESIGN OF THE VI NATIONAL FOREST INVENTORY

51. Description of the design

The grouping method was applied in the National Forest Inventory in Finland in 1970 to a district of about three million hectares, and in 1974—1976 to about eight million hectares (cf. p. 7). The design described here is that applied in 1974—1976. The inventory comprised the two northernmost forestry board districts without the three northest communes, Inari, Utsjoki, and Enontekiö.

The basic points for outlining the design for the Sixth National Forest Inventory were drawn on the basis of older experiences and the findings of present study (Chapters 3 and 4). The list of those points is:

1. The field work required should be distinctly less than in the alternative method applied to the National Forest Inventory in the southern part of Finland based on systematic field sampling.
2. The proportion of photo sampling units to field sampling units should be about 8: 1.
3. The minimum distance from one sampling unit to another should not be more than 1,5 km.
4. The sampling unit should be a cluster of two relascopic plots.
5. The district for the concentration of field work should not be larger than 8 km × 8 km, i.e. the size of a tract. The smaller the concentration areas are the larger they grow in number and the better geographic representation the field material produces.
6. The primary grouping districts should have at least 500 photo sample units, each.

Later, the head of the inventory organization showed it reasonable to include an additional point to the list:

7. The design should include a certain number of field units selected by principles of systematic sampling. This could be in the form of an independent sample in order to make it possible to calculate the inventory results independently. Thus, this sampling served as a check to avoid errors in handling data concerning the principal material. Another objective of the procedure was to establish the units drawn as fixed sample units by a systematic rule and thereby

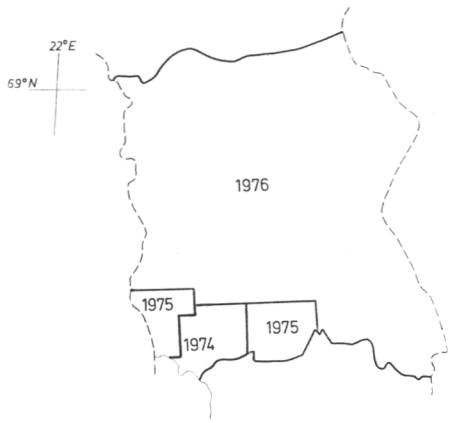


Fig. 14. District for forest inventory by the grouping method.

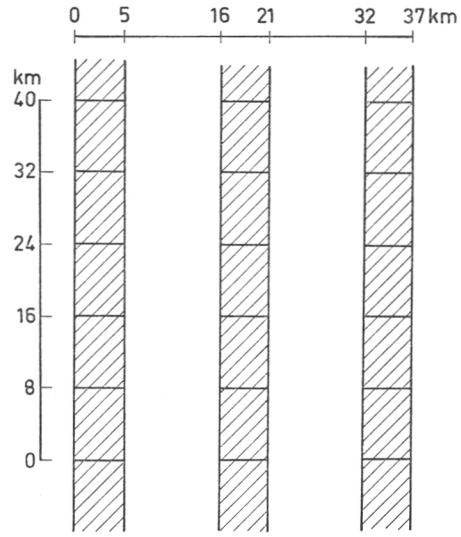


Fig. 15. Strips and tracts into which the photo sampling was concentrated.

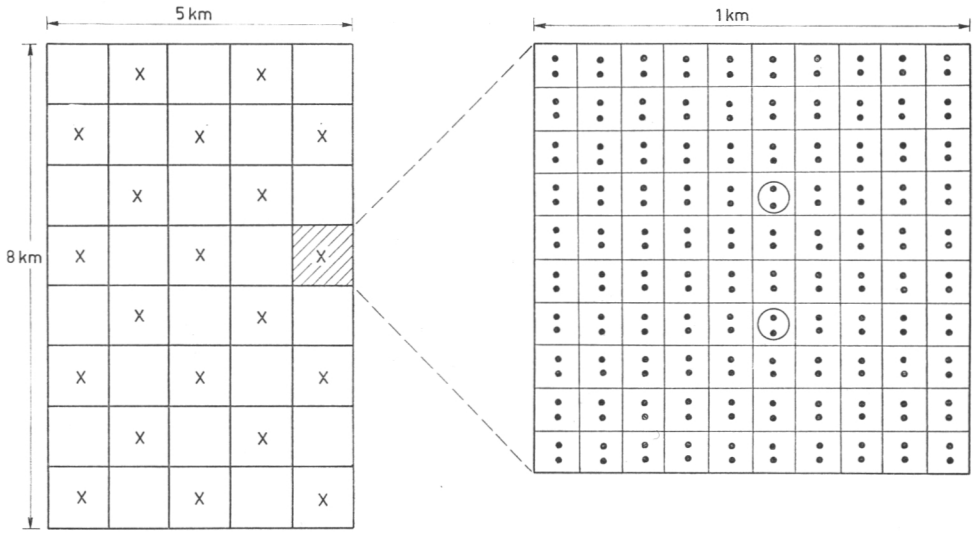


Fig. 16. Photo sampling units in a tract. Sample is marked hierarchically by crosses, circles and dots.

be able to apply it in the form presented to the technique of Continuous Forest Inventory, for example, Ware and Cunia (1962) and Nyyssönen (1967).

The seven requirements or suggestions listed above were fulfilled in the design applied to the Sixth National Forest Inventory (Figures 15, 16, 17, and 18). The

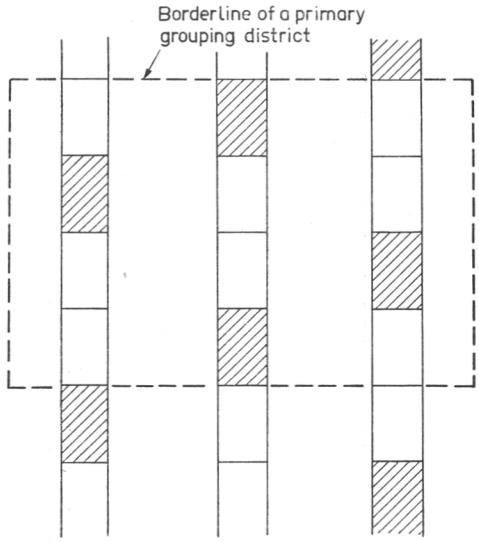


Fig. 17. Field work concentration areas.

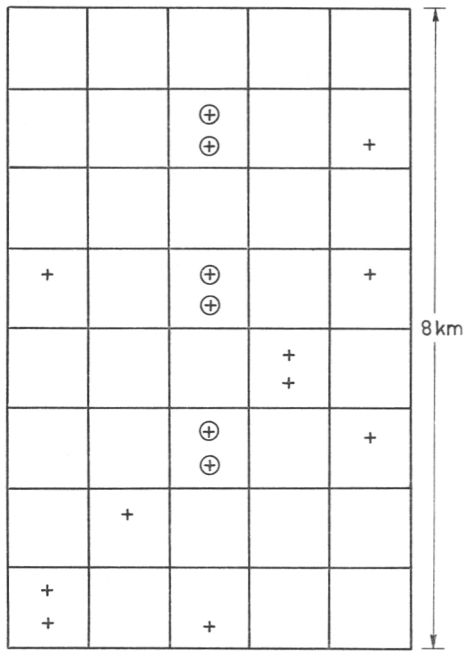


Fig. 18. Example of the location of field sampling units in a concentration area (⊕ fixed units, + units by restricted random drawing).

number of sample units taken by a restricted random drawing was about 3/2 times that of fixed units, on average. Random drawing was applied to groups which were not represented by a systematic drawing.

The sampling units were grouped, as far as practicable, by primary grouping districts into as homogeneous groups as possible with regard to estimations by photo interpretation. A primary grouping district consisted of about 12 tracts interpreted from aerial photographs or of a district of some 150 000 hectares. The size of a group was about 8 for the plots interpreted as land use class 1 (forest land) or 2 (poorly productive land), a little larger for land use class 3 (waste land) and much larger for other land use classes.

Grouping was committed to automatic computer. If it turned out that there were reasons to suspect errors in photo interpretation those plots were reinterpreted and thus many of the big errors could be eliminated. If a group in a primary grouping district was left small, the cluster of that group were put together with some exceptional kind of clusters of neighboring primary grouping districts in order to obtain a suitably large and homogeneous group.

The application of two rules for drawing the field clusters required some adaptive work on the design. If there was one fixed sample unit in a group it was taken as representative of the group and no random drawing was necessary for that group.

Table 20. Comparison of the results by two independent samples in the National Forest Inventory in 1974.

Characteristic under study	Area class	Sample 1	Sample 2	Sample 1	Sample 2
		Proportion, %		m^3/ha	
Land use class	Forest land	50,0	50,7	55,2	47,1
	Poorly productive land	22,3	21,0	15,1	14,5
	Waste land	21,3	21,6		
	Other land	6,4	6,7		
		100,0	100,0	31,0	26,9
Sub land class on forest land	Mineral site	64,0	68,3		
	Spruce swamp	20,0	17,9		
	Pine swamp	16,0	13,8		
		100,0	100,0		
Treatment class	Open regeneration	7,9	5,4	17,7	5,2
	Seedling with standards	6,0	8,0	13,4	14,4
	Seedling and sapling	25,3	23,2	25,7	14,3
	Thinning stands	23,2	16,4	61,7	69,2
	Preparatory stands	10,7	13,2	84,8	91,6
	Mature stands	10,5	5,8	137,0	66,3
	Shelter wood stands	3,3		44,7	
	Low yielding stands	13,1	28,0	56,7	51,9
		100,0	100,0	55,2	47,1

If there were two or more fixed sample units in a group the group was divided respectively into two or more new groups. If there was no fixed unit in a group the field unit was drawn randomly from the photo sample units belonging to the concentration areas of the primary grouping district or, in exceptional cases, to those of neighboring primary grouping districts.

Sometimes there existed groups from which no cluster fell into any of the concentration areas. In such cases, field clusters were taken outside of the field work concentration areas. The number of those groups proved to be small, less than ten in fact.

52. Experiment with the design

As the inventory design was changed, tests were regarded as important. Accordingly, the district of 1974 (Fig. 14) was studied using two equal but independent samples. Sample 1, the original sample, was as shown in Figures 15—18. Sample 2, the test sample, was taken from the strips placed between those of Sample 1. Both samples had their own photo interpreter and field crew. Grouping photo clusters and calculating results were also independent for both samples. The results are presented for comparison in Table 20.

Both samples consisted of about 1 130 photo and 130 field clusters. About 65 % of the clusters fell on forest land. The comparison of the items in Table 20 shows a good coincidence for proportional estimates. The difference in mean volume on forest land, 55,2—47,1 = 8,1 m^3/ha (about 16 %) must, however, be regarded as large. It was about as large as which could have been expected with a simple random sampling and with equal number of field clusters. The relative differences in total volume were smaller than those in mean volume on forest land.

It was considered that some part of the large difference between volume estimates was caused by the placing of a plot from aerial photographs onto the field. As the placing accuracy was estimated to be $\pm$ 5 metres, the final decision for the plot centre on the field included some subjectivity. One tended to unconsciously put the plot into a too heavily stocked location within the 5 metres radius circle. The opposite subjective placing could also have occurred with another worker.

The source of systematic error caused by the subjectivity in placing of a field plot was eliminated in the 1976 Inventory (Fig. 14). Now, the centres of relascopic plots were no longer placed directly. First, the centre point of a cluster, a point in a middle of the two relascopic centres, was located on the field and then the two relascopic centres by measuring 20 metres north and south from the centre of the cluster by using compass and tape. This procedure tends to increase the random error in placing of a plot but helps to avoid the very dangerous systematic error.

53. Results

The accuracy of two forest characteristics are discussed in this section. The first is the proportion of forest land (p = forest land/total land) and the other the mean volume of forest growing stock ($\bar{\bar{y}}$ = total volume/area of forest and poorly productive land). The ordinary results are published in Folia Forestalia (cf. K u u s e l a and S a l o v a a r a 1971).

The variance estimators (9) and (10) have been applied to four districts of different sizes. The list, the name and total land area are:

1 = Lappi Forestry Board District, ... 4 448 000 ha
2 = Koillis-Suomi Forestry Board District, 2 565 000 ha
3 = Sodankylä township, ... 1 224 000 ha
4 = Posio township ..... 331 000 ha

The accuracy estimates are given in Table 21. The assumptions applied to the variance estimators were:

$v_{\bar{p}bt}$ = 0,0191
$v_{\bar{\bar{y}}bt}$ = 60
g_1 = 0,5

Table 21. Accuracy of the results by the four districts.

District	Forest land			Forest land and poorly productive land		
	P	s_p	C_v [1]	$\bar{y}$	$s_{\bar{y}}$	C_v [1]
	%			m³/ha		%
1	63,0	0,8	1,26	38,1	0,63	1,67
2	69,5	1,0	1,39	39,6	0,84	2,12
3	59,7	1,4	2,40	33,1	1,14	3,44
4	72,2	2,6	3,54	40,6	2,18	5,37

[1] C_v = coefficient of variation
$= 100 \cdot s_p/P$ or $100 \cdot s_{\bar{y}}/\bar{y}$

Table 22. Effect of variation in groups size on variance estimates.

District	No. or plots per a group		Variances based on			
			present groups		even groups [1]	
	$\bar{x}$	s_x	v_{pw}	$v_{\bar{y}w}$	v_{pw}	$v_{\bar{y}w}$
1	6,21	2,82	,00004643	,3491	,00003985	,2208
2	5,73	2,99	,00006423	,6145	,00005171	,4942
3	4,30	3,25	,00014331	1,0982	,00009723	,7328
4	3,15	2,62	,00042067	4,0241	,00028203	2,5318

[1] Variances have been calculated by assumption that each group is of size shown in column $\bar{x}$. Variances between tracts neglected.

$g_2 = 0,5$
$f = 5/16 = 0,313$
The size of one tract equals 5×8 km².
One tract represents a district of 8×16 km².

Salminen (1973) has presented accuracy estimates for the results based on the Fifth National Forest Inventory. This inventory was performed in Lapland in 1970. Photo interpretation was not used, the inventory being based on tractwise field work alone, except for the northernmost part of Finland. Thus, the comparison of accuracies involves comparison of two very different inventory methods.

Best comparable are the results of District 2, Koillis-Suomi. According to Salminen (p. 24) $p = 60,6$ %, $s_p = 1,0$ per cent units and $C_v = 1,7$, and $\bar{y} = 51$ m³/ha, $s_{\bar{y}} = 1,8$ m³/ha and $C_v = 3,5$ %.

The differences existing between the comparable proportion and the means can be explained by forest improvement work, by statistical error and by subjectivity in the classification, especially when many forests are on the borderline between forest and poor forest land. In addition, S a l m i n e n's mean volume refers to forest land and that of present study to forest and poorly productive land. Total volumes calculated by both inventories fitted well.

Most interesting in comparison are the mean errors, s_p and $s_{\bar{y}}$. The accuracy of the proportion of forest land seems to be equal but the accuracy of mean volume is considerably better by the grouping method. Although the differencies referred to above explain some of the differences in $s_{\bar{y}}$, the result is not in accordance with expectations. In earlier studies (N y y s s ö n e n et al. 1968, for example) the value of using aerial photographs has been shown by the good ability to estimate land use classes. The reason for the unexpected result lies in exceptional forest conditions, where estimation of land use classes is often difficult even in the field.

S a l m i n e n (p. 28) has also calculated mean errors for districts 200 000 hectares in size. A comparison of District 4 (331 000 ha) leads one to conclude that the grouping method becomes more recommendable in relation to systematic field sampling when the calculation of estimates for small districts is of paramount importance.

The calculation of variances in Table 21 showed that about 30 % of them originated from the variance between tracts. The mean size of groups tended to decrease distinctly when the size of district became smaller. This and other inheritent facts are shown in Table 22.

Supposing that the variances within groups are not dependent on group size, it would be preferable to apply groups with equal size. For small districts, the group size tends to be smaller than for large ones. This is important when explaining the reasons why the grouping method gives relatively good results for sub-districts.

6. CONCLUSIONS

The main objective of this study was to find as optimal application of the grouping method as possible for the National Forest Inventory of North Finland in 1974—1976. In addition, it was considered that the results may be useful in planning other forest inventories as well.

The tests revealed that the grouping method with restricted random drawing of field units was highly preferable to the alternative design, where the field clusters were taken systematically and independently from the photo interpretation. This conclusion was true in study conditions where field work concentration areas were 48 km apart from each other. The reason to the inferiority of the systematic drawing was demonstrated to originate from the uneven group sizes.

The most recommendable application of the grouping method to National Forest Inventory is probably quite close to the design used in 1974—1976 (Chapter 5). The design was a combination of random and systematic drawing of field clusters. The negative effect of the combination of systematic drawing with random drawing is of minor importance and it can be well tolerated against the fact that the systematic drawing produces new possibilities, fixed and remeasurable sample plots, for example.

The changes most useful for the design can be addressed to the sampling unit, to the concentration of photo and field sampling, and to primary grouping district. A sampling unit of a cluster of two relascopic plots 40 m apart, as used in the VI National Forest Inventory, suits well when both of the plots fall on the same stand. If this does not happen it might be recommendable to use an alternative sampling unit, a single relascopic plot. This would mean that the plots of a cluster are separately interpreted from photos which would also mean separate grouping. The gain in this would be that the groups could be made more homogeneous with respect to forest characteristics.

The photo sample was concentrated into about one third part of the total area in the National Forest Inventory utilizing strips 5 km breadth. This concentration has adverse affects when results are calculated for relatively small districts, communes, for example. It seems recommendable to alter the relatively high concentration into lower. The number of strips could be increased and their breadth made smaller, to 3 km instead of 5, for example.

One means for diminishing the negative effect of photo sample concentration or for increasing the intensity of the sample at low cost is the application of an extra sample for estimation of area proportions for land use classes. Land use class is a

characteristic which can usually be interpreted with high reliability from photographs. An increase in accuracy for land use classes also has positive effects on the accuracy of many other forest characteristics through mutual correlation. Most value from the extra sample can be expected to be obtained when the proportion of forest area is relatively small and when the results by subdistricts are regarded as important. These conditions are typical of South-West Finland.

Primary grouping districts used in the National Forest Inventory usually consisted of 12 tracts and of 480 photo clusters. The larger the district the more homogeneous it is possible to build the groups, within certain limits. The experiences suggest that larger primary grouping districts are preferable. The technique to make the primary grouping districts larger for grouping those photo clusters which represent exceptional forest conditions is good, and was also applied to the National Forest Inventory.

Grouping was made by a computer grouping programme. This programme had a control of variances within groups. If an acceptable level was exceeded the plots were listed for checking for possible errors in photo interpretation. This technique was good, as many of the evident lapses could be corrected. However, grouping is a phase which should be improved more specific in relation to the objective of the inventory and also methodologically. Application of factorial points which are subresults in factor analysis might offer opportunities.

Field work concentration areas were 8 km × 16 km (Chapter 2 and 3) and 5 km × 8 km for the National Forest Inventory (Chapter 5). The latter size must be regarded as closer to the optimum. The sampling units include local qualities which favour the increase of the number of concentration areas on the cost of the size.

Fixing the concentration areas to a systematic location, as done in the tests, includes a danger. If a photo interpreter knows beforehand where the field measurements are to be made, he tends to give more attention to the work on those areas. This danger can be avoided, for example, by using separate personnel for photo interpretation and arrangement of photographs. Another disadvantage of systematic location is that the concentration areas may not well enough represent all parts of a primary grouping district. It is recommendable to include extra concentration areas on those primary grouping districts where this danger exists, such as when a concentration area falls largely on the water, for example.

The proportion of walking-time in the field was 61 % and for location and measuring of the plots only 39 % (p. 36). This may give an impression that this kind of the design must be ineffective. This conclusion may be too hasty. The 39 % may be a little too small because increment studies were not included in the measurements. The main reason for the high proportion of walking-time is due to the nature of the forests in North Finland. The proportion of waste land and forested land with low tree volumes is relatively high. This means that the measurements of those kind of plots do not take much time by any method and a large proportion of time then comes to walking.

The grouping method with systematic drawing of field sample was shown distinctly inferior to that with random drawing under test conditions. This is not a proof that systematic drawing would not be practicable in other conditions, where field work is concentrated into smaller and more numerous areas. For example, using the systematic field material obtained by the VI National Forest Inventory in South Finland as a second phase sample, the grouping method seems to offer a good means for intensifying the inventory of subdistricts, as shown by Nyrhinen (1976). The quality of that procedure could probably be improved remarkably if some, even small, field sample could be taken with restricted random drawing after photo interpretation.

The procedure referred to above is subject to some practical restrictions. In particular experience, which says that marking plots from field to aerial photographs is very difficult. This means that plots should always be marked first on aerial photographs and then located in the field. This does not mean that photo interpretation should precede the field work.

Perhaps most promises holds for the development of the application of the grouping method when it is linked to the improvement of the dependence between photo and field estimations (Table 18). The technique of photo interpretation in the tests was not of a high level. The small scale of the photography and positive enlargements, 1: 60 000 and 1: 50 000, made it impossible to reach good results for such characteristics as tree species. Now there exist good technical and probably economical possibilities to order specific photography and thus to increase the accuracy of the photo interpretation. In addition, efforts should also be directed to improving the skill of photo interpreters.

An important question not dealt with in this study is how effective the grouping method is in comparison with designs based on field sampling alone, with respect to the estimation of separate forest characteristics. The main interest lies in those characteristics the interpretation of which is usually not practicable, e.g., increment of tree volumes. These subjects will probably gain more importance when the accuracy of photo interpretation improves. The results are affected by the often strong mutual correlation between many of forest characteristics.

According to above, there are not direct grounds for mapping the conditions under which the grouping method would be preferable to others. In addition to taxatoric conditions, the objectives given for the inventory become important. One conclusion can be made, however. The grouping method is recommendable when much weight is allocated to total volume and especially to total volume by subdistricts.

SUMMARY

The objective of the study was to test some alternatives in the application of a double sampling in a form of the so-called grouping method for forest inventory purposes especially on the national level in North Finland. The material, collected in Finnish Lapland, consisted of 4 608 relascopic plots interpreted from aerial photographs of scale 1: 60 000 or 1: 50 000 and of about 1 000 respective plots measured in the field.

The tests showed that the dependence between photo and field estimates was in good concordance with earlier experiments. The coefficient of correlation for volume of forest growing stock was 0,69. If the unit of observation had been a cluster of two relascopic plots the coefficient could have been expected to be higher. High correlation was tested with regard to land use class, sub class, and treatment class. Main tree species showed low correlation. This was because the photography was taken at a small scale, 1: 60 000, with black and white panchromatic film. Using of black and white infrared film would have been helpful in this respect.

The grouping method with restricted random drawing of field plots was compared with that using systematic drawing. The results were much in favour of the first design. This was because the latter method produced groups which varied greatly in size. This, again, was a result of long distances, 48 km, between tract pairs in which the field work was concentrated. For a better performance from the method employing systematic drawing of field plots, the distances between the concentration areas should be made distinctly smaller.

The application of the grouping method with restricted random sampling was tested in simulated inventory conditions using nine alternative designs. The results are given in Tables 16—18. The tables help to obtain a good design for specific conditions and also show the effect the quality of photo interpretation has on the efficiency of the method. The tests were made with respect to only two forest characteristics, proportion of forest land and mean volume of growing stock.

Forest characteristics differ from each other regarding the quality and cost of photo interpretation. Land use class is a characteristic which can be interpreted confidently. This suggested a study of the possibility to use a specific sampling for the estimation of proportions of land use classes. Table 19 indicates that if the results are to be calculated for relatively small subdistricts, the application of two separate photo samples is probably advisable.

It was possible to outline the design for the Sixth National Forest Inventory in Lapland largely on the basis of the study results in Chapters 3 and 4. The inventory in 1974 (see Fig. 14) was made by two independent performances for study purposes. The results were compared (Table 20). The table indicates a good dependence for proportions in the area classes compared but only modest dependence for mean volumes. The reason for the relatively low coincidence of volumes was considered to lie in location of dots from aerial photographs to the field. The reliability of the location was estimated as 5 m. Accordingly, the plot centre could be located on a circle with radius of 5 m. This produced the danger of subjectivity. One worker might have tended to locate the plot in a too heavily stocked part of the circle, another whilst for the converse might be true. This danger was avoided by new arrangements in the 1976 Inventory.

The main emphasis in the paper was to show the way the grouping method should be applied to a forest inventory. Comparisons with other methods, especially with one phase field sampling, was not included in the set of themes. Enlargement of the study to include that and also those forest characteristics which were not included here is a subject for further interest. The photo interpretation applied can be regarded as quite primitive. This, and the results obtained, gave strong arguments for working towards better photo interpretation and thereby toward more efficient application of the grouping method.

REFERENCES

COCHRAN, W. G. 1963. Sampling Techniques. Second edition. New York. John Wiley & Sons, Inc.

ILVESSALO, Y. 1927. Suomen metsät. Tulokset vuosina 1921—24 suoritetusta valtakunnan metsien arvioimisesta. Summary: The forests of Suomi (Finland). Results of the general survey of the forest of the country carried out during the years 1921—24. Commun. Inst. For. Fenn. 11: 1—421.

—»— 1942. Suomen metsävarat ja metsien tila. II valtakunnan metsien arviointi. Referat: Die Waldvorräte und der Zustand der Wälder Finnlands. II Reichswaldabschätzung. Summary: The forest resources and the condition of the forests of Finland. The Second National Forest Survey. Commun. Inst. For. Fenn. 30: 1—446.

—»— 1956. Suomen metsät vuosista 1921—24 vuosiin 1951—53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. Summary: The forests of Finland and their development from 1921—24 to 1951—53. A survey based on three National Forest Inventories. Commun. Inst. For. Fenn. 47: 1—227.

—»— 1963. IV valtakunnan metsien inventointi. 2. Maan eteläpuoliskon metsänhoitolautakuntien alueryhmät. Summary: Fourth National Forest Inventory. 2. Southern Forestry Board Districts. Commun. Inst. For. Fenn. 57 (4): 1—99.

KUUSELA, K. & POSO, S. 1975. Demonstration of the applicability of satellite data to forestry. Seloste: Havaintoja satelliittikuvien käyttökelpoisuudesta metsätaloudessa. Commun. Inst. For. Fenn. 83 (4): 1—31.

—»— & SALMINEN, S. 1969. The 5th national forest inventory in Finland. General design, instructions for field work and data processing. Commun. Inst. For. Fenn. 69 (4): 1—72.

—»— & SALOVAARA, A. 1971. Kainuun, Pohjois-Pohjanmaan, Koillis-Suomen ja Lapin metsävarat vuosina 1969—70. Forest Resources in the Forestry Board Districts of Kainuu, Pohjois-Pohjanmaa, Koillis-Suomi and Lappi in 1969—70. Folia For. 110: 1—49.

MATÉRN, B. 1960. Spatial variation. Stochastic models and their application to some problems in forest surveys and other sampling investigations. Medd. Statens Skogsforskn. Inst. 49 (5).

NYRHINEN, T. 1976. Kaksivaiheisen metsän inventoinnin koe Lounais-Suomessa. Summary: A test of two-step forest inventory in South-West Finland. Folia For. 285: 1—24.

NYYSSÖNEN, A. 1967. Remeasured sample plots in forest inventory. Medd. Norske Skogsforsøksv. 84 (XXII): 193—220.

—»— , POSO, S. & KEIL, C. 1968. The use of aerial photographs in the estimation of some forest characteristics. Seloste: Ilmakuvien käyttö eräiden metsän tunnusten arvioimisessa. Acta For. Fenn. 82 (4): 1—35.

POSO, S. & KUJALA, M. 1971. Ryhmitetty ilmakuva- ja maasto-otanta Inarin, Utsjoen ja Enontekiön metsien inventoinnissa. Summary: Groupwise sampling based on photo and field plots in forest inventory of Inari, Utsjoki and Enontekiö. Folia For. 132: 1—40.

—»— 1972. A method of combining photo and field samples in forest inventory. Seloste: Ilmakuva- ja maasto-otokseen perustuva metsän inventointimenetelmä. Commun. Inst. For. Fenn. 76 (1): 1—133.

SALMINEN, S. 1973. Tulosten luotettavuus ja karttatulostus valtakunnan metsien V inventoinnissa. Summary: Reliability of the results from the Fifth National Forest Inventory and a presentation of an outputmapping technique. Commun. Inst. For. Fenn. 78 (6): 1—64.

SNEDECOR, G. 1962. Statistical methods. Iowa. The Iowa State University Press.

WARE, K. D. & CUNIA, T. 1962. Continuous forest inventory with partial replacement of samples. For. Sci. Monogr. 3.

SELOSTE

Tutkimus liittyy kaksivaiheisen otannan ja ilmakuvatulkinnan käyttöön metsän inventoinnissa. Aineistot kerättiin Lapista Sodankylän ja Rovaniemen korkeudelta. Ilmakuvauksessa oli käytetty mustavalkoista, pankromaattista filmiä. Kuvaus oli suoritettu 9 km:n korkeudelta mittakaavassa 1: 60 000. Tulkintakuvien mittakaava oli puoliksi 1: 60 000 ja 1: 50 000. Kuvilta tulkittiin yhteensä 4 608 relaskooppikoealaa. Näistä runsaat 1 000 mitattiin myös maastossa.

Kuvatulkinnassa käytettiin yksinkertaisia tulkintamenetelmiä, linssistereoskooppia ja puiden pituuksien mittaamiseen haluttaessa parallaksitankoa. Kuvatulkinnan laatu vastasi kutakuinkin odotuksia. Puuston kuutiomäärän ilmakuva- ja maastoestimaattien välinen korrelaatiokerroin oli metsä- ja kitumaalla keskimäärin 0,69. Korrelaatiot olivat hyviä maaluokan, alaluokan ja kehitysluokan estimoinnissa. Sen sijaan puulaji osoittautui vaikeasti ilmakuvilta tulkittavaksi.

Päämenetelmät, joita tutkimuksessa vertailtiin, olivat ryhmitysmenetelmä maastokoealojen rajoitetulla poiminnalla ja ryhmitysmenetelmä maastokoealojen systemaattisella poiminnalla. Tulokset osoittivat, että edellinen oli testiolosuhteissa ylivoimainen. Syyksi todettiin, että ryhmien koko vaihteli jälkimmäisessä huomattavasti enemmän. Toisenlaisilla testijärjestelyillä menetelmien eroa olisi voitu todennäköisesti vähentää huomattavasti.

Paremmaksi todettua menetelmää, ryhmitysmenetelmää maastokoealojen rajoitetulla poiminnalla tutkittiin vielä yhdeksässä vaihtoehtoisessa järjestelytilanteessa. Vaihtoehdot liittyivät eriasteisiin ilmakuva- ja maasto-otosten keskittämisiin. Taulukoissa 16—18 esitetyistä tuloksista voitiin päätellä, että ilmakuvaotannan keskittäminen vähentää inventoinnin tehokkuutta, kun taas maasto-otoksen keskittäminen sitä parantaa.

Valtakunnan metsien VI inventointi Lapin ja Koillis-Suomen piirimetsälautakuntien alueilla vähennettynä kaikkein pohjoisimmalla osalla tehtiin kaksivaiheisella otannalla vuosina 1974—1976. Menetelmän valinnassa käytettiin hyväksi lukujen 3 ja 4 tuloksia ja aikaisemmin ryhmitysmenetelmän käytöstä saatuja kokemuksia. Vuoden 1974 inventointeihin sisällytettiin ylimääräisiä mittauksia. Niiden avulla voitiin todeta, että maa-alueen jakaantuminen erilaisiin pinta-alaositteisiin voitiin estimoida todennäköisesti kohtalaisen hyvin. Sen sijaan puumäärien estimoinnissa oli aihetta epäillä olevan systemaattista virhettä. Tämän katsottiin johtuvan subjektiivisuudesta koealojen paikallistamisessa ilmakuvista maastoon. Tämä vaara poistettiin erityisin järjestelyin vuoden 1976 inventoinnissa.

Tutkimuksessa saatiin joukko tietoja, joita voidaan käyttää hyväksi suunniteltaessa metsän inventointia ryhmitysmenetelmän pohjalta. Lisäksi voitiin osoittaa tärkeitä tutkimus- ja kehittämiskohteita. Erityisen selviä inventoinnin tehokkuutta parantavia mahdollisuuksia näyttäisi liittyvän kuvatulkinnan luotettavuuden lisäämiseen.

FATIGUE AT CUTTING WORK

Heart rate changes and some metabolic factors during a working day

PERTTI HARSTELA and HEIKKI VUORINEN

Seloste

TEKOMIEHEN VÄSYMINEN

Sydämen sykinnän muutokset ja eräät aineenvaihdunnalliset tunnukset työpäivän aikana

HELSINKI 1977

ISBN 951-40-0307-1
ISSN 0026-1610

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

ODC 302
ISBN 951-40-0307-1
ISSN 0026-1610

HARSTELA, P. & VUORINEN, H. 1977. Fatigue at cutting work. Heart rate changes and some metabolic factors during a working day. Seloste: Tekomiehen väsyminen. Sydämen sykinnän muutokset ja eräät aineenvaihdunnalliset tunnukset työpäivän aikana. Commun. Inst. For. Fenn. 93 (2): 1—00.

On the basis of earlier fatigue theories and concise empirical material it was concluded that the following phases of the fatigue process occur in physically strenous cutting work: the alarm phase, the adaptation phase, the fatigue phase and the overstrain phase. The different phases can be seen as descending and ascending cycles in the heart rate, but individual variations are large. Changes that may be indicative of overstrain were established in some metabolic factors of some workers.

Aikaisempien väsymys-teorioiden ja suppean empiirisen aineiston perusteella pääteltiin puutavaran teossa esiintyvän seuraavat väsymys-prosessin vaiheet: Hälytysvaihe, sopeutumisvaihe, väsymysvaihe ja ylikuormittumisvaihe. Eri vaiheet voivat näkyä sydämen sykinnässä laskevina ja nousevina jaksoina, mutta yksilöllinen vaihtelu on suuri. Työpäivän lopussa havaittiin joillakin työntekijöillä aineenvaihdunnallisia muutoksia, jotka saattavat osoittaa ylikuormittumista.

CONTENTS

1. INTRODUCTION 5

2. MATERIAL AND METHODS 6

21. Collection of the material 6

22. Model illustrating the heart rate level 8

3. RESULTS 9

31. Changes in heart rate during a single day 9

32. Metabolic factors 15

4. DISCUSSION 17

REFERENCES 21

SELOSTE 23

1. INTRODUCTION

Heart rate is one of the commonest measures in ergonomic studies. As changes occur in the heart rate while the strain remains constant during the working day, this is a source of error that impedes the comparison of working methods. It has also been propounded that changes in the heart rate illustrate the strain of the worker in the course of the working day (Lundgren 1946, Harstela 1975). As heart rate is a general measure of strain, it is interesting for the fatigue phenomenon. Fatigue is understood here as a psychophysiological process which begins immediately with the onset of physical or mental effort (Dukes-Dobos 1971).

An increase in heart rate under the influence of diminishing stroke volume, deposition of blood because of gravity, reduction of the vasomotor tonus of the veins and an increase in the circulation have been reported by way of a general rule in work of long duration (Ekelund and Holmgren 1964, Ekelund 1966, Rowell 1971). On the other hand, the heart rate has even declined during a day-long ski hike, which has been accounted for by the direction of circulation to the working muscles (Vuori 1972). Ergometric tests, too, have shown lowering of the heart rate under 40 % loading before the new accending phase (Michael et al. 1961).

Ergometric tests have revealed that with a load exceeding 35—50 % the heart rate, body temperature and energy consumption increase during an 8-hour working day, and this has been attributed to the lowering of efficiency of the organism caused by overstrain (Åstrand 1960). Elevation of the blood hematocrit, which is indicative of the reduction of blood plasma volume, has also been demonstrated with over 40 % loading (Lange Andersen et al. 1969). The growing need of oxygen due to mobilisation of new motor units, and increasing heart rate under the same stress have been asserted to be associated with a developing state of fatigue in a certain phase. Later, some motor units and later on also mechanisms of mobilisation of the energy reserves exclude a defence reaction of the organism (Viru 1975). The heart volume may grow and the mechanical systole lengthen in a state of fatigue at the end of long-term stress (Ekelund et al. 1967, Vuori 1972). The phenomenon would appear to be caused by weakening of the mechanical activity of the heart muscle. It has also been suggested that lowered adrenergic excitation causes a certain reduction in the functioning of the heart muscle (Mitchell and

Wildenthal 1971). On the other hand, Rowell (1971) disputed the hypothesis of the weakening of heart muscle activity as there occurs a strong sympathetic excitation which increases the rate of cardiac contractions also in fatigue experienced under a maximal load.

Conflicting results have been obtained regarding the role of substances associated with metabolism in the origin of the fatigue phenomenon. Dukes-Dobos (1971) attributes this in part to the combined effect of units of the neural and endocrine system.

Heart rate values have been found in forest work to be higher at the end of the working day than at its beginning with the same stress (Lungren 1946). There are rising and falling cycles in heart rate during the working day, but the individual variations are great. It has been assumed that the ascending cycles at the outset are due to the decreasing stroke volume, and that the descending cycles are the consequence of fatigue (Harstela 1975).

Forest work is performed with a high degree of strain (e. g. Harstela 1975). The worker is exposed to many-sided stress due to the joint action of factors associated with the working conditions, weather, diet and physical effort. Study of this strain situation was assumed to be interesting for the fatigue phenomenon. The aim was to elucidate the nature of strain in forest work in a cold climate, to formulate a model illustrating the changes in the relation between the test subjects' heart rate and the work load during the working day, to study the changes in the heart rate, the level of adrenal hormones in blood and excretion in urine and the blood electrolyte balance in the course of the working day, to study the correlation between the changes in the heart rate and the abovementioned biochemical events, and to discuss the serviceability of changes in heart rate in describing the worker's physiological state and especially overstrain. The work is a pilot study in which a relatively small test subject population is used to propound hypotheses concerning the causal relations mentioned.

The authors thank Professor Osmo Hänninen, Department of Physiology, University of Kuopio, Professor Pentti Hakkila and Professor Matti Kärkkäinen, Finnish Forest Research Institute, and Erkki Wuolijoki, Lic.Phil., Work Efficiency Association, for useful advice in the planning of the test and writing of the manuscript and Leo Tervo, Forestry Engineer, for organisation of the field work. Miss Päivikki Ojansuu translated the manuscript into English.

2. MATERIAL AND METHODS

21. Collection of the material

The material was collected from logging work sites in which the shortwood method was employed. Pulpwood was made to the length of approx. 3 m and bunched alongside the strip road. The strip road spacing was 20—30 m. The test subjects were professional forest workers (Table 1).

Table 1. Characteristics of the test subjects and the degree of strain at work
Taulukko 1. Koehenkilöiden ominaisuudet ja kuormittumisaste

Subject, No *Koehenkilö, No*	Age years *Ikä*	Height *Pituus* cm	Weight *Paino* kg	Maximal oxygen uptake *Maksim. hapenottokyky* l/min	Maximal oxygen uptake *Maksim. hapenottokyky* ml/kg/min	Blood pressure *Verenpaine* mm Hg	Food ingested during and before work* kJ	Work strain *Kuormitus-%* per cent
1	38	178	83	2,4	29	118/70	4 600	58—71
2	48	165	71	2,4	34	120/80	1 200	42—54
3	39	171	83	2,9	35	120/75	11 000	52—67
4	37	182	70	2,1	30	130/80	9 600	60—74
5	30	182	78	3,0	38	110/80	9 100	59—63
6	33	174	85	2,8	33	120/80	12 100	—53
7	26	174	68	3,1	46	120/70	13 200	47—60
8	24	176	68	2,9	43	110/70	22 900	50—63

* Ennen työtä ja työaikana nautittu ravinto

Table 2. The investigation conditions
Taulukko 2. Tutkimusolosuhteet

Subject, No *Koehenkilö, No*	Temperature, °C *Lämpötila, °C* $\bar{x}$	Temperature, °C *Lämpötila, °C* s	Average size of stem, m³/stem *Keskimääräinen rungon koko, m³*	Average branchiness class *Oksaisuus-luokka*	Average terrain class *Maasto-luokka*	Density of cutting chance, m³/hectare *Leimikon tiheys m³/ha*	Depth of snow, cm *Lumen syvyys, cm* $\bar{x}$	Depth of snow, cm *Lumen syvyys, cm* s
1	—15,9	1,03	0,078	2	1	23,0	35,4	3,36
2	—18,1	0,83	0,078	2	1	23,0	34,5	2,08
3	— 1,0	1,15	0,113	3	1	147,3	41,5	8,29
4	— 2,7	3,88	0,113	3	1	147,3	37,2	9,11
5	— 2,5	1,63	0,220	3	1	134,6	..	..
6	— 4,3	1,53	0,220	3	1	134,6	..	..
7	— 8,2	0,28	0,060	3	1		8,5	2,12
8	— 5,6	..	0,060	3	1		8,5	2,12

$\bar{x}$ = mean — *keskiarvo*
s = standard deviation — *keskihajonta*

The length of the working day was a little shorter than normal, comprising 6 productive working hours. A 10 min. rest pause was observed after every hour and there was a meal break of 0,5 h at midday. The test subject was followed for two days, on the first day for practice and adapting to the investigation situation. The conditions were autumnal or wintery, as can be seen from Table 2.

The test subject was allowed to eat whatever food he was used to during the working day, but the quantities consumed were recorded. Food and beverages were allowed ad.lib. during all rest intervals. Heart rate was followed continuously telemetrically with a Biotelemetry System I C-45 appratus. The work difficulty factors were measured by stem. The work phases were recorded with a special code equipment in connection with the registering of the ECG curve, and the expenditures of working time were arrived at on their basis.

Blood and urine samples were taken in the morning before the beginning of work, during the meal break and at the end of the working day. The sample of venous blood was taken 5 min. and the urine sample 30 min. after ceasing to work. The following determinations were made:

— blood glucose (B-G);
— serum 11-OHCS fluorometrically; in addition to cortisol corticosterone was determined;
— serum potassium (s-K) by a flame photometer;
— serum sodium (s-Na) » » »
— serum cholesterol (s-Kol.) according to Person's method;
— blood lactic acid (B-Lact.) enzymatically;
— urinary potassium (dU-K) by a flame photometer;
— urinary sodium (dU-Na) » » » »
— urinary epinephrine (dU-Adren.) and norepinephrine (dU-Noradr.) fluorometrically, isolation by Al_2O_3 column chromatography;
— urinary 17-KGS by Appleby's and Norymberski's method.

The following measurements were also made in connection with the taking of the specimens: the subject's weight, axillary temperature (T_{ax}), blood pressure (BP) and heart rate (HR) supine, on standing up and while standing. Oxygen uptake was determined before the study using a submaximal bicycle ergometer test.

22. Model illustrating the heart rate level

It was assumed that under the same stress the changes in the heart rate in strenuous physical work depend above all on the amount of work X. If the progress is denoted by letter M it is possible to determine the physiological status S affecting heart rate as follows at time t:

$$S(t) = \int_0^t M[X(t)]\,dt \tag{1}$$

The activity of the organism in strenuous physical work is illustrated well by energy consumption E which can be denoted M = E. Energy consumption, on the other hand, can be denoted as a function of the amount of work done. Let t_j be the time at which the preparation of timber j begins and e_j the cumulative energy consumption in the preparation of timber. We then obtain

$$e = \int_{t_j}^{t_{j+i}} E[X(t), M(t)]\,dt \tag{2}$$

The variable e_j is the commonness of the amount of work required for handling timber j. Let the physiological state of development at the beginning of preparation of timber j be s_j, and let g_j denote the heart rate at the end of the timber preparation. We then obtain

$$g_j = g(s_j, e_j) \tag{3}$$

H a r i et al. (1970) described how to make the corresponding equation operational. The equation becomes operational when it is assumed that g is the linear function of e

$$g(s, e) = f(s) \cdot a \cdot e \tag{4}$$

Energy consumption e can be expressed well as a linear function of the amount of work and the working pace h

$$g(s, e) = f(s)(a_1 + a_2x + a_3h) \tag{5}$$

(H a r s t e l a 1975)

Function f is a complex function of s, but it is assumed to be divided into linear parts. The constants a_n determine the level of the heart rate per individual tree. The turning points of function f were determined graphically. The place of the turning points was iterated by using the degree of explanation as the criterion. It is possible with regression analysis to estimate an equation for each linear part of function f as each linear part can be presented in the form

$$g = a_0 + a_1x + a_2h + a_3s + a_4s_j \quad (6)$$

The variable s_j in the model is the cumulating amount of work after the nearest interval and it illustrates the adaptation from the physiological state caused by the interval to the physiological state required by work. The model illustrating heart rate was prepared by separating the linear part of f in regression analysis by the dummy variable technique.

3. RESULTS

31. Changes in heart rate during a single day

The models describing heart rate are shown in Table 3.

Figure 1 shows the original observations from which the effect of variables x_1, x_5 and x_7 has been deducted. Heart rate as a function of the cumulative amount of work which illustrates the development of the physiological state was calculated from the models by computer. The degrees of explanation of the models are satisfactory in view of the great deviation typical of forest work-study results (H a r s t e l a 1975, 1976). The pauses were drawn in the figures as vertical lines.

There is great individual variation in the shape of function f. Six test subjects had a descending phase of heart rate at the beginning of the working day, followed in five of them by an ascending phase. In two subjects the heart rate rose throughout the day. In four test subjects the working day ended with an ascending phase and in another four with a descending phase. Heart rate was distinctly greater at the end than at the beginning of the working day for four test subjects and it was distinctly smaller in only one case.

The correlation coefficients showed that the heart rate had risen more in workers with a good than in those with a poor physical performance ($r = 0{,}6$). The change in urinary Na/K ratio correlated with the heart rate change negatively ($r = -0{,}62$) in the forenoon but positively ($r = 0{,}34$) in the afternoon, albeit relatively weakly. The decrease in norepinephrine ($r = -0{,}73$) and the increase in epinephrine ($r = 0{,}9$) increased the heart rate.

Correlation analysis is not in itself very fruitful, in this case because the ascending and descending phases of the heart rate did not coincide with the time cycles of blood and urine sampling. In addition, according to the theory of the combined effect of the units of the endocrine system propounded by D u k e s - D o b o s (1971), analysis of a single variable does not yield an unequivocal result for the test population. For this reason, verbal and individual analysis was applied to a great extent.

Table 3. Models describing heart rate and their degree of explanation
Taulukko 3. Sydämen sykintää kuvaavat mallit

Heart rate of the subject *Sydämen sykintä*	Variables and their significance — *Muuttujat ja niiden merkitsevyys*												R^2 %
	x_1	x_5	x_7	x_7^2	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	
y_1	0,057**	—	0,222**	0,002*	160,13	79,56	148,57	—	—1,10***	3,31***	0,117	—	53
y_2	0,030*	—	0,033	—0,001	118,70	95,82	161,70	58,19	0,24	2,05****	—1,42***	2,80	64
y_3	—	—	0,132***	—0,001***	137,91	109,95	159,69	65,06	—1,31****	2,68****	1,84****	4,26****	58
y_4	—0,003	—	0,085	—0,001*	158,39	162,31	142,10	—	0,572	—1,39***	—0,012	—	66
y_5	0,059****	—	0,164***	—0,001	137,80	123,13	141,70	142,57	—0,48	1,47	—0,382	—0,444	55
y_6	0,081****	—	0,049*	—	115,42	73,77	147,80	—	—1,915****	4,052****	—1,61****	—	64
y_7	0,01****	—	0,211*	—0,002	117,36	113,56	150,93	102,93	1,09	2,28****	—1,46	1,85	50
y_8	—	0,225****	0,415****	—0,003***	120,47	129,10	128,22	—	3,57*	0,374	0,490	—	64

Variables: $y_{1 \cdots 8}$ = heart rate of the test subject, cycles/min. — *sydämen sykintä, kertaa/min.*
x_1 = size of the part of stem to be bunched, 0,001 m^3 — *rungon kasatun osan tilavuus, 0,001 m^3.*
x_5 = time expended on bunching, cmin. — *kasausaika, cmin.*
x_7 = cumulating amount of work between two pauses — *kahden tauon välinen kumuloituva työmäärä.*
$x_{9 \cdots 12}$ = dummy variable illustrating the constant — *vakiota kuvaava valemuuttuja.*
$x_{13 \cdots 16}$ = dummy variable illustrating the cumulating amount of work from the beginning of the day — *työpäivän alusta kumuloituvaa työmäärää kuvaavia valemuuttujia.*

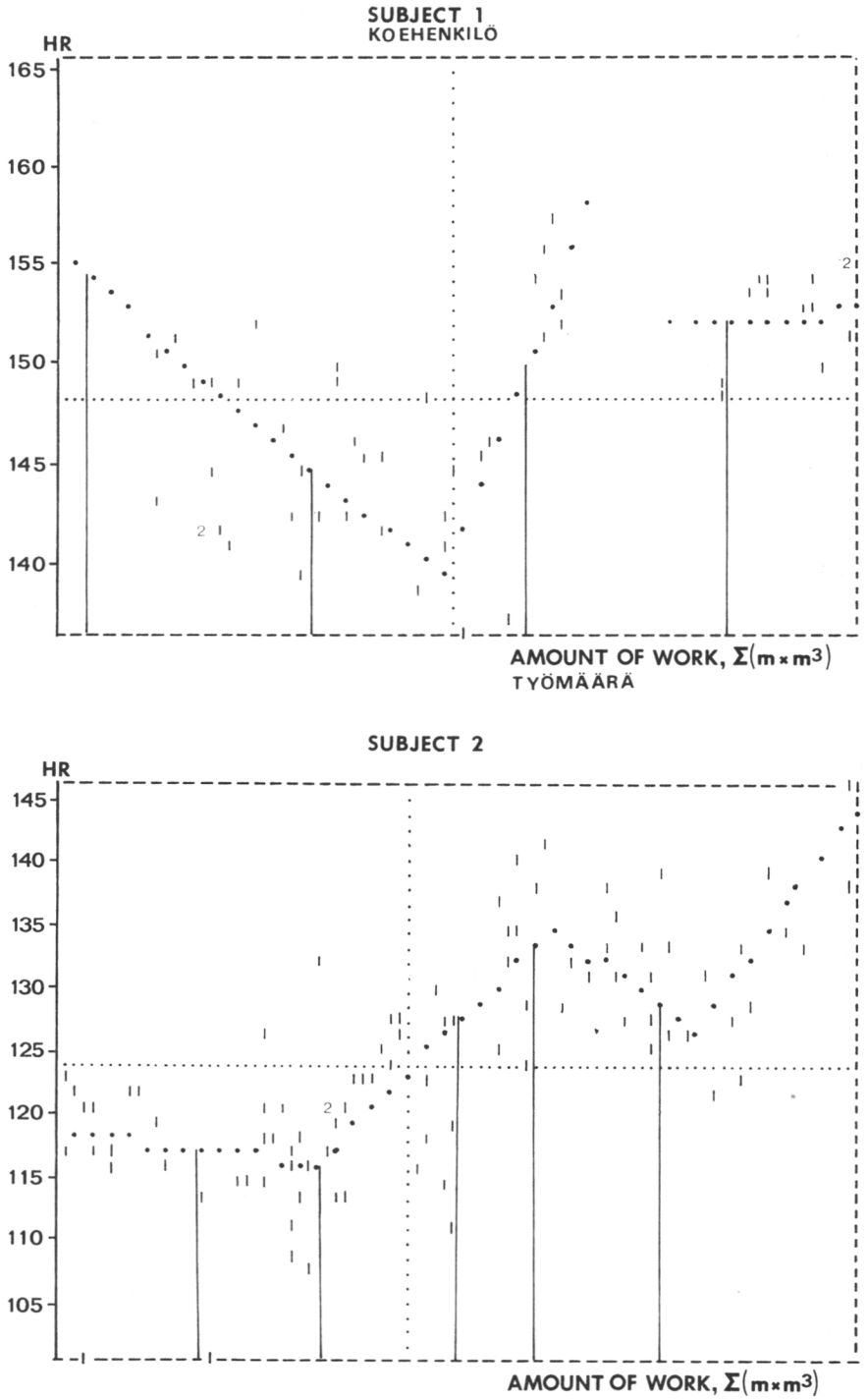
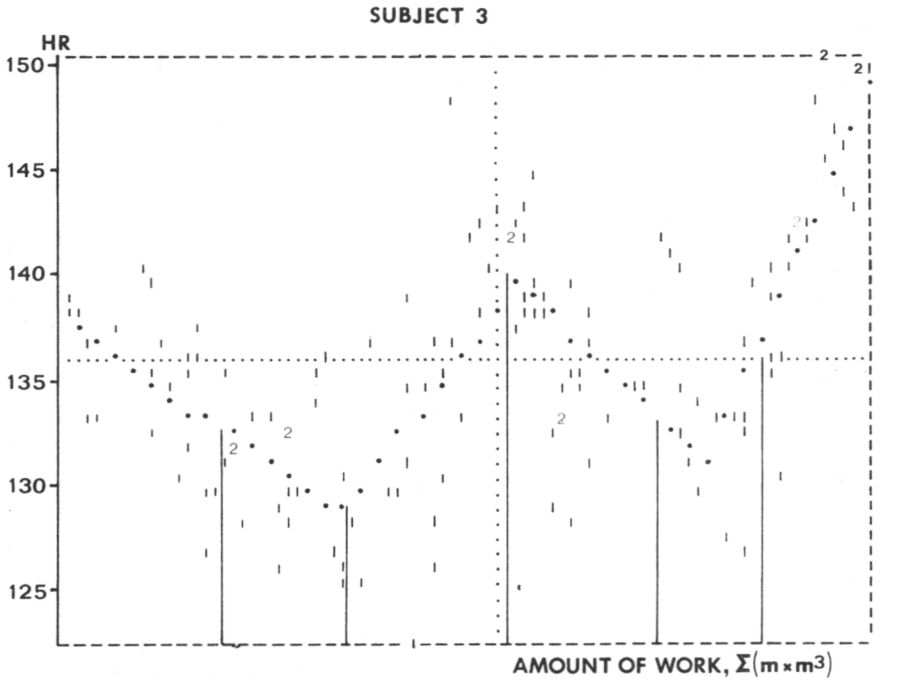
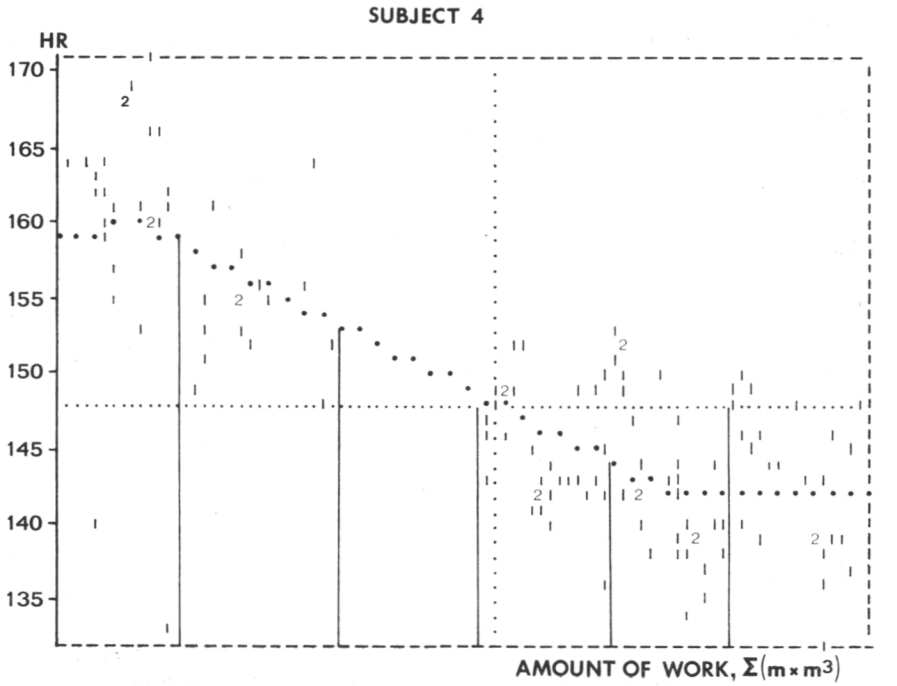
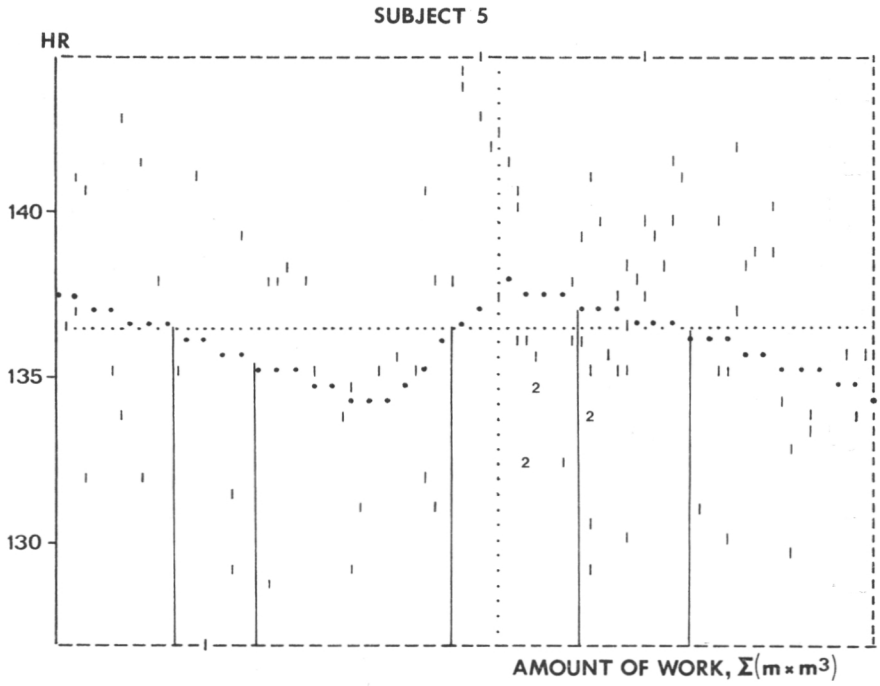
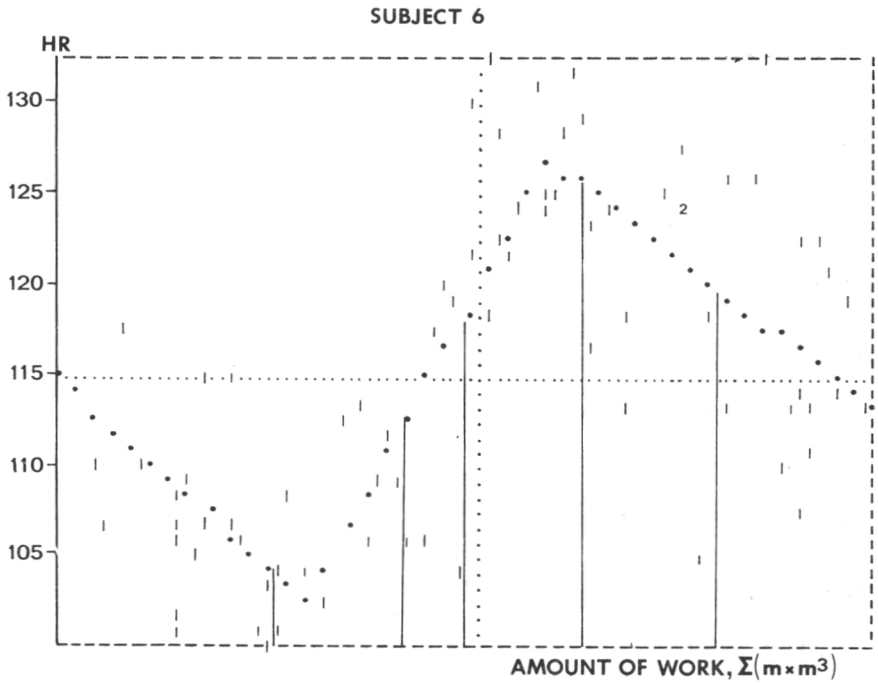


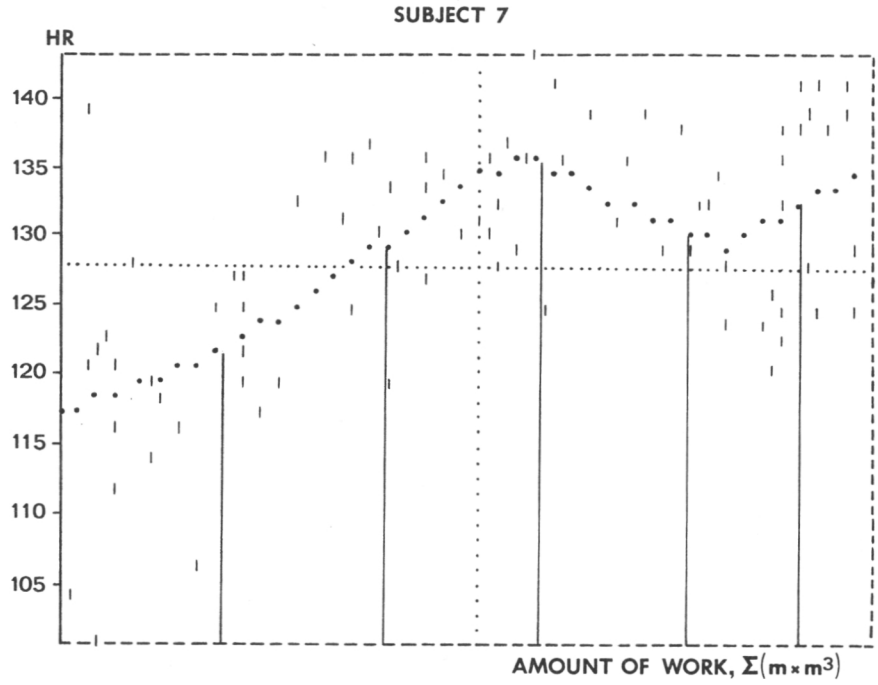
Fig. 1. Heart rate as a function of the amount of work done.
Kuva 1. Sydämen sykintä kumuloituvan työmäärän funktiona.

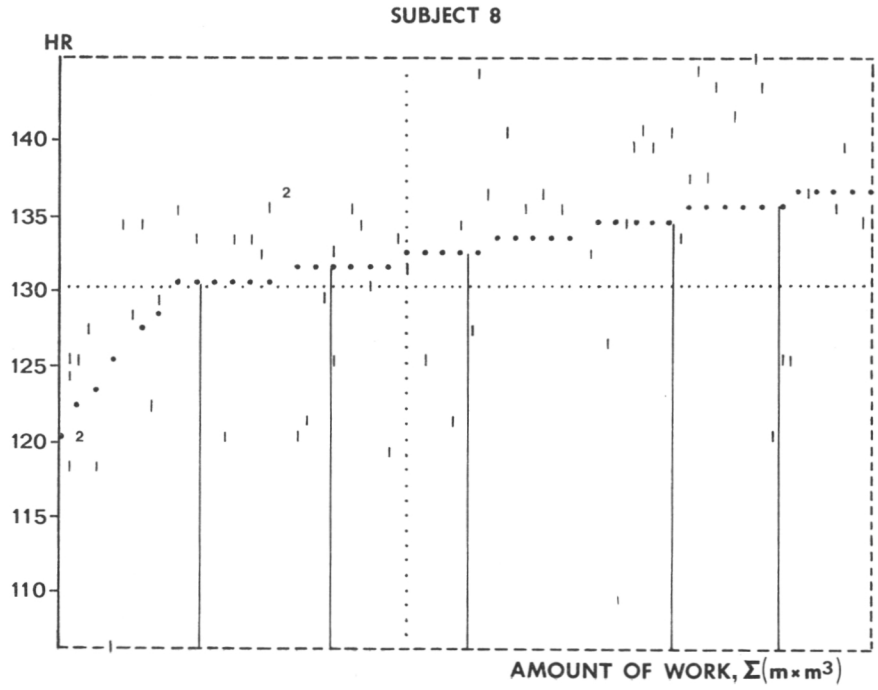

SUBJECT 3
HR
150
145
140
135
130
125
AMOUNT OF WORK, Σ(m × m3)


SUBJECT 4
HR
170
165
160
155
150
145
140
135
AMOUNT OF WORK, Σ(m × m3)


SUBJECT 5
HR
140
135
130
2
2
2
AMOUNT OF WORK, Σ(m×m3)


SUBJECT 6
HR
130
125
120
115
110
105
2
AMOUNT OF WORK, Σ(m×m3)


SUBJECT 7
HR
140
135
130
125
120
115
110
105
AMOUNT OF WORK, Σ(m × m3)


SUBJECT 8
HR
140
135
130
125
120
115
110
2
2
AMOUNT OF WORK, Σ(m × m3)

32. Metabolic factors

Figures 2 and 3 give the values of the variables for adrenal hormones and some metabolic variables by test subjects. All of them showed a slight drop in the blood cholesterol and lactic acid levels during the afternoon. In most of them the serum 11-OHCS also decreased during the afternoon. The urinary epinephrine and norepinephrine levels rose in all the test subjects during the working day, but the secretion was considerable in only one of them. The individual differences between the test subjects were great in other respects.

The differences between the morning and evening values as measured by the t-test deviated significantly from the 0 level only for norepinephrine and epinephrine. When the test subjects were divided into two groups according to whether or not the heart rate increased during the working day a significant difference was demonstrated between the groups in the increase in 11-OHCS and elevation of the serum Na/K ratio. Both increased more in the group in which the heart rate rose in the course of the working day.

The change in the blood glucose value correlated relatively strongly with the amount of food ingested ($r = 0{,}54$). The quantity of food did not explain, however, the hypoglycemia of test subject 3. Physical working capacity correlated positively with the change in the amount of 11-OHCS.

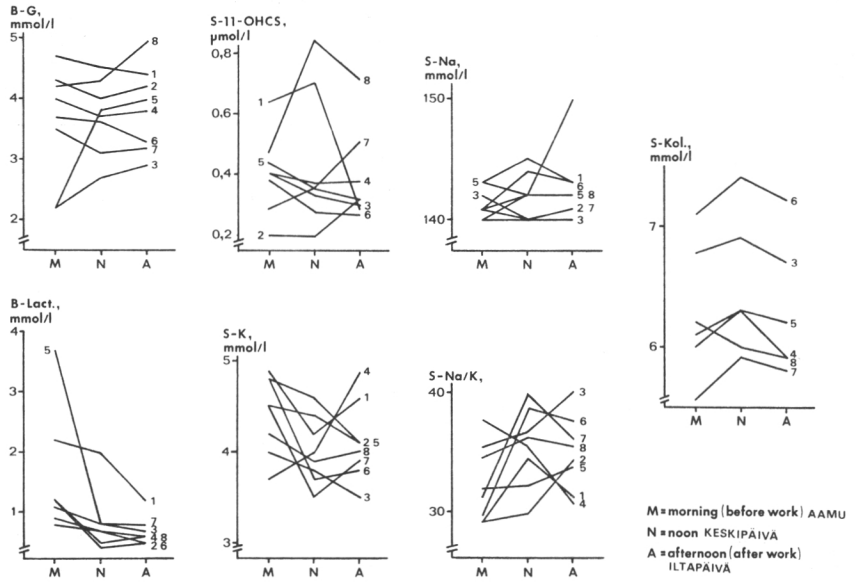


Fig. 2. The metabolic factors of the blood during the working day.
Kuva 2. Veren aineenvaihdunnalliset tunnukset työpäivän aikana.

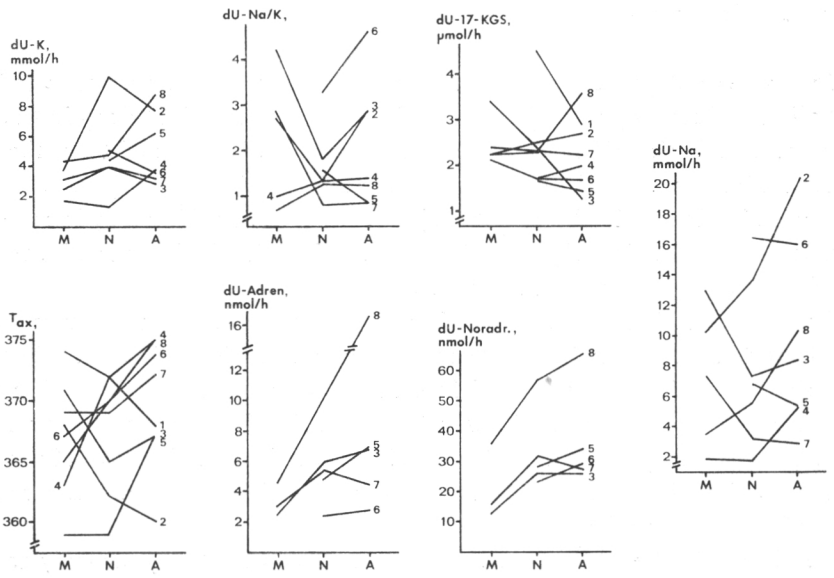


Fig. 3. The metabolic factors of the urine during the working day.
Kuva 3. Virtsan aineenvaihdunnalliset tunnukset työpäivän aikana.

Table 4. Heart rate and blood pressure of the test subjects according to the circulatory load in the overstrain test
Taulukko 4. Sydämen sykintä ja verenpaine ylikuormittumistestissä

Subject, No *Koehenkilö, No*	Morning posture *Aamuasento*				Noon posture *Päiväasento*				Afternoon posture *Ilta-asento*			
	Supine *Makuu*		Upright *Pysty*		Supine *Makuu*		Upright *Pysty*		Supine *Makuu*		Upright *Pysty*	
	HR	BPS	HR	BPS	HR	BPS	HR	BPS	BPS	HR	BPS	HR
1	82	118	98	145	90	120	110	140	100	120	112	140
2	55	120	68	130	62	120	80	125	72	120	96	125
3	70	120	92	120	91	115	102	115	95	115	108	110
4	68	130	88	140	92	125	104	135	91	120	102	120
5	78	110	108	120	98	130	114	130	96	140	124	140
6	64	120	85	130	78	130	112	140	82	120	103	130
7	68	110	80	120	98	110	113	120	98	100	110	110
8	76	120	106	125	96	120	132	110	112	120	130	130

HR = Heart Rate — *Sydämen sykintä*
BPS = Systolic Blood Pressure — *Systolinen verenpaine*

The circulatory load was measured by a test in which the subject lay down for about 5 min. while his blood pressure and heart rate were measured. The test subject then stood up and his heart rate and blood pressure were measured after about 3 min. A fall in systolic blood pressure and concurrent increase in heart rate are indicative of overstrain (L u n d g r e n 1969). The results are presented in Table 4.

Test subject 3 experienced a definite overstrain reaction after the working day. His blood glucose was low throughout the day although it rose towards the evening.

Test subject 8 experienced an overstrain reaction at midday. His urinary Na/K ratio increased from morning to midday, but the ratio in the blood also increased. Release of both potassium and sodium in the urine increased sharply in the afternoon. The subject displayed a pronounced increase in epinephrine and norepinephrine secretion throughout the working day.

4. DISCUSSION

It is possible on the basis of earlier fatigue theories to explain the phenomena observed in the present work as follows. The piece-rate motivates the maintenance of a high level of strain in forest work (Harstela 1975). In consequence the strain caused by physical effort threatens most the state of equilibrium in the worker's organism (Selye 1950, Harstela 1975). As persons with good physical working capacity are able to strain themselves more without serious complications they also work at a higher pace (Harstela 1975). In the present material good physical working capacity was accompanied by an increase in heart rate, secretion of 11-OHCS and blood glucose and a stable cholesterol level. The amount of work done in a certain time also correlated positively with physical working capacity. The last-mentioned correlation has been observed earlier in forest work (Hansson 1965, Mälkiä 1974, Harstela 1975).

The short-term alarm reaction of the organism (Selye 1950) was followed in most workers by a phase of adaptation when the heart rate fell (Vuori 1968, Harstela 1975). This may be the result of directing the blood volume to the working muscles. The lowering of the axillary temperature suggests that a significant blood volume was not necessary to maintain circulation in the skin and there was probably no significant dehydration on account of the cool or cold air temperature. The following phase was fatigue, which Viru (1975) stated begins with a feeling of tiredness. However, according to earlier research this does not always lead, in forest work, to a reduced working pace which is due to work motivation (Harstela 1975). Because of changes in peripheral or central structures, an increase in synchronously working motor units and functioning muscular groups is necessary to maintain the same working speed. This results in an increase in oxygen consumption and heart rate. Only the exhaustion of compensatory possibilities results inevitably in lowering of the working pace. The ascending phase that followed the descending phase of heart rate in the present study agrees well with Viru's theory of fatigue.

Viru (1975) stated that the increased need of motor units may be the consequence of peripheral changes, but that it is not possible to rule out the structural changes in motoneurons or the central nervous system. The fatigue phenomena are regarded by Viru as defence reactions the purpose of which is to prevent fatal exhaustion of the energy reserves of the body. In the final phase of the fatigue phe-

nomenon the inhibiting action of the CNS leads to e.g. an insufficiency in the supply of glucocorticoids. This defence reaction results paradoxically in overstrain phenomena if the subject continues to work. The decrease in the glucocorticoid level following such activation of the adrenal cortex was reported by e.g. Viru and Åkke (1969) and Chin and Evonuk (1971). The close correlation between peripheral and central factors is seen in e.g. the inhibitory effect of peripheral chemical changes on the CNS via the chemoreceptors. Alternations in the CNS do not allow peripheral changes to reach extreme levels (Viru 1975).

According to the theory propounded by Dukes-Dobos (1971), homeostasis is achieved through the combined action of many units of the neural and endocrine regulatory system. Hence, adaptation, fatigue or overstrain may be manifested as a change in many different parameters, and this explains the conflicting results obtained for a single parameter. Endocrine hormones can be distributed between hormones that promote catabolic and those that further anabolic processes. In fact, any catabolic alternation whetever is assumed in the following to be an equivalent parameter of the fatigue and strain condition.

Adrenocortical activity decreased in four test subjects during the ascending phase which followed the descending phase of heart rate. This decrease was most evident in the test subjects with the poorest physical working capacity. Marathon runners of good capacity have been observed to have a better ability to maintain their activity than those with a poorer capacity (Viru and Körge 1971). Although the decrease in steroids may cause a vascular reaction leading to an increase in heart rate, the above-mentioned effect has been weak as far as glucocorticoids are concerned (Abboud 1974). A more probable explanation of the increase in heart rate is the increased need of motor units suggested by Viru (1975).

Serum potassium decreased clearly in four subjects. The fall in the potassium level causes an increased flow of calcium into the cells, leading to a growth in the rate of cardiac contractions (Langer 1971). The urinary Na/K ratio increased in three test subjects, which may be indicative of a weakening of aldosterone secretion. However, the serum Na/K ratio decreased concurrently in only one of the subjects. The axillary temperature of three subjects also increased.

Inhibition of the formation of angiotensin II which affects aldosterone secretion decreases the blood pressure and increases the heart rate (Sancho et al. 1976). The weakening of aldosterone secretion may be the result of a lowered serum potassium level. The weakening of aldosterone secretion would thus be a feedback phenomenon aimed at avoiding hypokalemia. Suggestive of this is the negative correlation ($r = -0{,}42$) between the change in the urinary Na/K ratio and in serum potassium. If the weakening of aldosterone secretion were the cause of the change in serum potassium, the above correlation should be positive. The serum potassium level of two test subjects fell in fact close to hypokalemia. The fall in test subject 3 was probably due to hypoglycemia and a carbohydrate-containing diet (Viru and Körge 1971).

The test subjects whose heart rate increased throughout the day displayed a relatively steep elevation of axillary temperarure. One showed a pronounced increase in the secretion of catecholamines, especially epinephrine. In another, again, the serum potassium level fell steeply in the morning. An even rise in heart rate throughout the working day may be the outcome of several factors. Such factors are an increase in the secretion of endocrine hormones, diminishing stroke volume of the heart, for instance because of loss of humor, increased consumption of fats as energy, an increase in the skin circulation, weakened activity of the cardiac muscle and altered distribution of the central blood volume (Saltin and Stenberg 1964, Ekelund 1966). Lange Andersen et al. (1969) reported, in an ergometric study on forest workers with over 40 per cent loading, an elevation of the blood hematocrit value which is indicative of the diminution of plasma volume. There was a slow increase in the heart rate at the same time. It has been suggested, on the other hand, that the decrease in the blood volume may cause the increase in spite of this slight fluid deficit (Vuori 1972). Use of fats in lieu of glucose has been noted to be considerable, especially in work requiring the use of large muscular groups and done at a low temperature. Running for two hours alone has increased appreciably the amount of free fatty acids in the blood (Keul et al. 1973). The negative correlation between norepinephrine secretion and heart rate in the afternoon is probably the result of neutral inhibition caused by the lowering of blood pressure (De Jong 1974).

The descending phase that follows the ascending phase of heart rate at the end of the working day may be the consequence of the feeling of fatigue resulting from the lessening of the working speed, though an endeavour was made to eliminate the effect of working speed with the help of the heart rate model. However, it is not possible in varying forest conditions to demonstrate fully the changes in the working pace. But the decrease in heart rate may be associated also with the defence reaction in Viru's (1975) theory, in consequence of which the organism inhibits the utilization of energy reserves. It has been suggested in fact that lowered adrenergic excitation causes a decrease in the activity of the cardiac muscle (Mitchell and Wildenthal 1971). Strain of long duration has also been stated to cause weakening of the mechanical activity of the cardiac muscle (Ekelund et al. 1967, Vuori 1972). On the other hand, the strong sympathetic excitation that increases the rate of cardiac contractions has been encountered also in a fatigue state (Rowell 1971). In the present work, the heart rate decreased only in some of the test subjects. It did not decrease in subject 3 for instance who, judging by the other variables, appeared to be the most strained of the workers. Hence the heart rate reaction in the final phase of the fatigue phenomenon may be individual.

In conformity with earlier studies, the lactic acid levels of the blood failed to rise during the working day, which indicates the variable and dynamic nature of the work and the short duration of the static work phases (Mälkiä 1974, Wuoli-

joki 1977). It was observed in fact by Essen and Kajser (1976) that it is possible to maintain continuous strenuous work at 50 per cent strain and alternating work with maximum output without lactic acid accumulating in the muscle. This is because in these forms of work only muscle fibres of a certain type are activated.

Norwegian forest workers have been found to have a slightly greater oxygen uptake, buffering capacity of body fluids and ability to maintain the blood glucose level than the rest of the population (Lange Andersen et al. 1969). The test subjects in the present study did not reveal weakening of epinephrine secretion which points to the training effect of the work (cf. Michaelis and Straub 1949). In contrast, a decrease in glucocorticoid secretion was observed. Hence, possession of a good working capacity is important for loggers in order to maintain adrenocortical activity which prevents overstrain.

Bearing in mind that the working day during the test was shorter than normal (6hours), it may be said that logging work is done under such a load that a part of the workers develop symptoms indicative of overstrain. Food ingested in forest work before and during the working day is obviously important not only for the prevention of hypoglycemia but also to prevent hypokalemia and maintain the fluid balance. The conditions of the present study corresponded to those of the cool or cold season of the year. It is possible that the role of body temperature, loss of humor and salt balance is accentuated during the warm season.

Logging is strenuous and accompanied by marked strain peaks (e.g. Harstela 1971), but great muscle groups are used manysidedly in the work. Heart rate models reveal distinctly the lowering effect of pauses on the heart rate. Consequently, sufficient breaks and phasing of the work to keep the most strenuous work phases short (Harstela 1971) reduce considerably the strain on the heart.

It is imperative in comparative forest work studies to consider the individual variations in the heart rate as a function of working time. Equally long working days or the same timing of measurements are required for comparison of different working methods. It appears from this concise pilot study that a elevation of the heart rate of the end of the working day and a fall possibly following it is associated with the overstrain phenomena. However, change of heart rate alone does not suffice to describe strain adequately and it is difficult to interpret. According to the present investigation, the electrolyte balance, glucocorticoids, catecholamines and tests illustrative of the adaptation of the circulation seem to be promising variables for use in addition to heart rate changes. Furthermore, at least the hematocrit value probably offers additional information on potential strain, especially during the warm season of the year.

REFERENCES

ABBOUD, F. M. 1974. Effects of sodium, angiotensin, and steroids on vascular reactivity in man. Fed. Proc. 33: 143—149.

ANDERSSON, B. 1976. Interaction between neural and humoral factors in temperature regulation. Acta Phys. Scand. Suppl. 440: 10.

CHIN, A. K. & EVONUK, E. 1971. Changes in plasma catecholamine and corticosterone levels after muscular exercise, J. Appl. Physiol. 30 (2): 205—207.

DE JONG, W. 1974. Noradrenaline: central inhibitory control of blood pressure and heart rate. Eur. J. Pharmacol. 29: 179—181.

DUKES-DOBOS, F. N. 1971. Fatigue from the point of view of urinary metabolites. Ergonomics 14 (1): 31—40.

EKELUND, L. G. 1966. Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise in the supine position. Acta Phys. Scand. 68: 382—396.

—»— & HOLMGREN, A. 1964. Circulatory and respiratory adaptation during long-term, non-steady state exercise in the sitting position. Acta Phys. Scand. 62: 240—255.

ESSEN, B. & KAJSER, L. 1976. Glycogen utilization in individual muscle fibres during intermittent and continuous exercise. Acta Phys. Scand. Suppl. 440: 170.

HANSSON, J. E. 1965. Samband mellan personvariabler och prestation vid huggningsarbete. Summary: The relationship between individual characteristics of the worker and output of work in logging operations. Stud. For. Suec. 29: 1—90.

HARI, P., LEIKOLA, M. & RÄSÄNEN, P. 1970. A dynamic model of the daily height increment of plants. Ann. Bot. Fenn. 7: 375—378.

HARSTELA, P. 1971. Työjärjestyksen vaikutus tynkäkarsitun ja likipituisen kuusikuitupuun teossa. Summary: The effect of the sequence of work on the preparation of approximately 3-m, rough-limbed spruce pulpwood. Folia For. 105: 1—23.

—»— 1975. Työajan menekkiin ja työntekijän kuormittumiseen vaikuttavat tekijät eräissä metsätyömenetelmissä. Summary: Factors affecting the comsumption of working time and the strain of the worker in some forest work methods. Commun. Inst. For. Fenn. 87 (2): 1—130.

—»— 1976. Työn tuotos ja työntekijäin kuormittuminen tehtäessä kuitupuuta liukupuomikuormausta varten. Summary: Work output and the worker's strain in cutting pulpwood for slide-boom loading. Folia For. 260: 1—23.

KEUL, J., HARALAMBIE, G., ARNOLD, T. & SCHUMANN, W. 1973. Heart rate and energy-yieldingsubstrates in blood during long-lasting running. Europ. J. Appl. Physiol. 32: 279—289.

LANGE ANDERSEN, K., MYHRE, K. & VIK, T. 1969. Likevekten i det indre kroppsmiljø ved langvarig muskelarbeide. Summary: Homeostasis (internal environment) during prolonged work. Medd. Norske Skogforsoksv. 7: 213—224.

LANGER, G. A. 1971. The intrinsic control of myocardial contraction -ionic factors. N. Engl. J. Med. 285: 1065.

LUNDGREN, N. P. V. 1946. The physiological effects of time schedule work on lumber-workers. Acta Phys. Scand. 13 (41): 1—104.

—»— 1969. Fysiologisk arbetsmätning. Handbok i ergonomi (Edited by G. Luthman, U. Åberg and N. Lundgren). p. 254—298. Stockholm. Almgvist & Wiksell.

MICHAEL, E. D. Jr., HUTTON, K. E. & HORVATH, S. M. 1961. Cardiorespiratory response during prolonged exercise. J. Appl. Physiol. 16: 997—1000.

MICHAELIS, H. F. & STRAUB, H. H. 1949. Adrenalin und Arbeit. Training und Adrenalinspiegel des Blutes bei konstante Leistung. Arbeitsphysiologie 14: 82.

MITCHELL, J. H. & WILDENTHAL, K. 1971. Left ventricular function during exercise. In Coronary heart disease and physical fitness (Edited by O. Andree Larsen and R. O. Malmborg) Munsgaard, Copenhagen.

MÄLKIÄ, E. 1974. Iän ja fyysisen suorituskyvyn vaikutus työntekijän kuormittumiseen puutavaran teossa. The influence of age and physical performance on strain of the worker in making timber. Työtehoseuran julkaisuja 173: 1—63.

ROWELL, L. B. 1971. Cardiovascular limitation to work capacity. In Physiology of work capacity and fatigue. (Edited by E. Simonson.) Springfield. Charles C. Thomas.

SALTIN, B. & STENBERG, J. 1964. Circulatory Response to Prolonged Severe Excercise. J. Appl. Physiol. 19: 833.

SANCHO, J., RE, R., BURTON, J., BARGER, A. C. & HABER, E. 1976. The role of renin-angiotensin-aldosterone system in cardiovascular homeostasis in normal human subjects. Circulation 53 (3): 400—405.

SELYE, H. 1950. Stress. Montreal. Acta Inc.

TAYLOR, H. L., BUSKIRK, E. R., BROZEK, J., ANDERSON, J. T. & GRANDE, F. 1957. Performance capasity and effects of caloric restriction with hard physical work on young men. J. Appl. Physiol. 10: 421—429.

VIRU, A. 1975. Defence reaction theory of fatique. Schweiz. Z. Sportmed. 4: 171—187.

—»— & ÅKKE, H. 1969. Effects of muscular work on cortisol and corticoxterone content in the blood and adrenals of guinea pig. Acta Endocrinol. 62: 385—390.

—»— & KÖRGE, P. 1971. Metabolic processes and adrenocortical activity during marathon races. Int. Z. angew. Physiol. 29: 173—183.

WUOLIJOKI, E. 1977. Maitohappo ja väsyminen. Lactic acid and the fatigue. Acta For. Fenn. 1959: 1—32.

VUORI, I. 1968. Verenkiertoelimistön mukautuminen ruumiilliseen rasitukseen. Stadion 1: 31—36.

—»— 1972. Sydämeen kohdistuva kuormitus laturetkihiihdossa. Gardiac load in daylong ski-hike. Turun Yliopiston julkaisuja C. 12: 1—144.

ÅSTRAND, I. 1960. Aerobic work capasity in men and women with special reference to age. Acta Phys. Scand. 49. Suppl. 169: 1—92.

SELOSTE

Sydämen sykinnän vaihtelu samalla kuormituksella työpäivän aikana on eräs kuormittumistutkimusten virhelähde. Tuon vaihtelun on kuitenkin oletettu kuvaavan työntekijän fysiologista tilaa ja siten myös kuormittuneisuutta. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia työntekijän kuormittumista työpäivän aikana puutavaran teossa, laatia malli sydämen sykinnän vaihtelusta ja verrata sitä aineenvaihdunnallisten tunnusten muutoksiin.

Sydämen sykinnässä tapahtui työpäivän aikana verraten suuria muutoksia. Sykinnän nouseva jakso työpäivän alussa tulkittiin hälytysvaiheeksi. Sitä seuranut laskeva jakso sopeutumisvaiheeksi. Myöhemmin tapahtunut nouseva jakso väsymysvaiheeksi. Ja uudelleen laskeva jakso ylikuormittumisvaiheeksi. Yksilöllinen vaihtelu eri työntekijöiden kesken oli suuri, ja edellä esitetty tulkinta on vasta hypoteettinen.

Joillakin työntekijöillä tapahtui aineenvaihdunnallisissa tai verenkiertoelimistöön liittyvissä tunnuksissa muutoksia, jotka tulkittiin ylikuormittumiseksi. Tulokset vahvistavat käsitystä, jonka mukaan ravinnolla on suuri merkitys hakkuutyössä veren sokeri- ja elektrolyyttitasapainon ylläpidossa. Samoin verenkiertoelimistön kuormittumista vähentävät toimenpiteet, kuten riittävä tauotus, rasitushuippujen välttäminen ja liian pitkien työpäivien välttäminen, ovat tärkeitä.

TAIMITARHAN TOIMINTAVAIHTOEHTOJEN VALINNAN LIIKETALOUDELLINEN MALLI

OLAVI LAAKKONEN

Summary

AN ECONOMIC MODEL FOR SELECTING PRODUCTION ALTERNATIVES IN A FOREST NURSERY

HELSINKI 1978

ODC 624.9: 232.32
ISBN 951-40-0313-6
ISSN 0026-1610

LAAKKONEN, O. 1978. Taimitarhan toimintavaihtoehtojen valinnan liiketaloudellinen malli. Summary: An economic model for selecting production alternatives in a forest nursery. Commun. Inst. For. Fenn. 93 (3): 1—95.

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu maamme keskustaimitarhojen tuotannon suunnittelua liiketaloudelliselta kannalta. Keskustaimitarhat tuottavat vuodessa miljoonia taimia. Suunnittelulla on siten suuri taloudellinen merkitys. Taimitarhan toimintatavoitteeksi on tässä asetettu sellainen tuotevalikoima, että koko suunnittelujakson (tässä 5 v) tuotantotoiminnasta vuosittain saatavien jakson loppuun prolongoitujen katetuottojen ja taimitarhalle tuon ajanjakson lopussa jäävän käyttö- ja vaihto-omaisuuden arvon summa muodostuisi mahdollisimman suureksi. Tavoitteeseen pyrittäessä on otettu huomioon, ettei taimitarhan äärellisiä tuotannontekijä- ja rahoitusresursseja saa ylittää.

Toimintavaihtoehtojen vertailu on suoritettu lineaarista ohjelmointia käyttäen siten, että tavoitteesta on johdettu mallin tavoitefunktio ja toimintaa rajoittavat tekijät ja osatavoitteet on kuvattu rajoitusepäyhtälöillä.

Mallin käyttökelpoisuutta taimitarhan tuotantosuunnitelman perustaksi on kokeiltu Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla. Mallin mukaan on Suonenjoen taimitarhalla v. 1976 vallitsevissa olosuhteissa edullisinta tuottaa rauduskoivun avomaalle koulittuja muovihuonetaimia (1 M + 1 A) ja kuusen rullataimia (2 A × 2 Ar). Tällöin on huomattava, että jo esikarsintavaiheessa rajoitettiin vertailuun mukaan otettavien myytävien taimilajien määrä yhdeksään. Männyn ja rauduskoivun taimet olivat kaksivuotisia ja kuusen taimet korkeintaan nelivuotisia.

Mallia voidaan käyttää apuna keskustaimitarhojen toiminnan keskipitkän (3—6 v) tähtäyksen suunnittelussa. Mallin tehokas käyttö samoin kuin taimitarhatuotannon suunnittelun rationalisointi yleensäkin edellyttävät taimitarhojen informaatiojärjestelmien jatkokehittelyä.

The study concerns the business economics of planning nursery stock production in Finland's central forest tree nurseries. As millions of plants are produced annually at these nurseries, planning is of great economic significance. In this study the production goal set for a nursery is to produce such a range of products (i.e. plants) as to maximise the combined sum of both a) the sum of annually formed contribution profits (prolonged to the end of the period) resulting from production carried out during the planning period (here 5 years) and b) the value of liquid and current assets at the end of the same period. Financial and production factor resources were not to be exceeded in seeking to attain this goal.

Linear programming was used for comparing the production alternatives. The goal function for the model was derived from the goal outlined above. Production constraints as well as subsidiary goals are presented in the form of constraint inequalities.

The applicability of the model as a basis for a nursery production plan has been tested at the Forest Research Institute's nursery in Suonenjoki. According to the model, 1 M + 1 A transplants of Silver Birch (initially cultivated in plastic greenhouses and then transplanted in the open) and roll transplants 2 A × 2 Ar of spruce were a better choice than the others in 1976.

One has to observe that in the preliminary phase of the study the number of plant types was restricted to nine. The pine and Silver Birch plants were two years old and the spruce plants four years at most.

The model presented here can be used in making medium-term (3—6 years) plans for plant production in central nurseries. The continued improvement of information systems in central nurseries is a prerequisite for gaining full benefit from the model and for achieving rationalisation in nursery stock production in general.

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Käsillä oleva tutkimus on tehty Metsäntutkimuslaitoksen metsäekonomian tutkimusosaston liiketaloudellisen metsäekonomian tutkimussuunnalla. Allekirjoittanut aloitti tämän tutkimusaiheen keväällä 1975 ja oltuaan välillä puolisen vuotta toisen työnantajan palveluksessa jatkoi keväästä 1976 lähtien tutkimusta Metsäntutkimuslaitoksessa.

Tutkimuksen suunnittelussa ja toteutuksessa olen saanut arvokasta apua esimieheltäni, professori Jouko Hämäläiseltä. Hän on myös yksityiskohtaisesti lukenut käsikirjoituksen ja tehnyt siihen runsaasti varteenotettuja parannusehdotuksia. Käsikirjoituksen on lisäksi lukenut vt. professori Matti Leikola, joka on myös tehnyt siihen useita hyödyllisiä muutosehdotuksia. Hän on auliisti antanut neuvoja myös monissa, etenkin taimien tuottamista ja taimitarhojen organisatorisia kysymyksiä koskevissa asioissa. MMK Simo Hanneliuslta on lukenut osia käsikirjoituksesta ja hänen puoleensa olen kääntynyt muutoinkin työn eri vaiheissa. Lisäksi olen työn suunnitteluvaiheessa saanut apua KTT Matti Urrilalta.

Aineiston keruun järjestelyssä sekä tuotantotekniikkaa koskevissa kysymyksissä olen saanut apua Suonenjoen metsänviljelyn koeasemalta ja sen taimitarhalta mh Risto Rikalalta, mt Leo Tervolta, mt Antti Niemelältä sekä mt Kalevi Konttiselta. Monissa taimitarhojen käytännön kysymyksissa olen kääntynyt MMK Simo Kailan puoleen.

Englanninkielisen tekstin on kääntänyt mh Erkki Pekkinen ja tarkastanut B.Sc. Ashley Selby. Englanninkielisen lyhennelmän on tarkastanut myös Ph.D. Kari Keipi.

Esitän lämpimät kiitokseni edellä mainituille sekä useille nimeltä mainitsemattomille henkilöille, jotka ovat minua auttaneet tutkimuksen eri vaiheissa.

Helsinki, lokakuussa 1977

Olavi Laakkonen

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 7
11. Suomen taimitarhat ja niiden tuotanto 7
12. Ongelman asettelu ja tavoitteet 10
2. TAIMITARHA — MONITUOTEYRITYS 12
21. Tuotannontekijät 12
22. Tuotteet 12
Taimilajien merkitseminen 12
Taimituotannon tarve 13
23. Tuotantomenetelmät 15
Yleistä 15
Kuusen taimien tuottaminen 18
Männyn taimien tuottaminen 19
Koivun taimien tuottaminen 20
24. Taimitarhan toimintakaavio 20
3. MALLIN MUODOSTUS 23
31. Yleistä 23
32. Tuotannon kuvaaminen 24
33. Tuotannontekijäin rajoitukset 27
Työvoima 28
Kesämuovihuoneet 28
Lämmitettävät muovihuoneet 30
Avomaa 31
Kylmähuoneet 32
Traktorit 33
34. Lainan saantirajoitukset 36
35. Likviditeettirajoitus 38
36. Tavoitefunktio 39
4. MALLIN TARVITSEMAT TIEDOT 41
41. Taimitarhan nykyinen tila 41
Teknisten tietojen keruu 41
Varaston inventointi 42
Rahoitustilanteen kartoitus 42
42. Tulevaisuutta koskevat tiedot 42
Eräitä naiveja ennustusmenetelmiä 42
Ennusteiden luotettavuudesta 44
Kysynnän ja hintojen ennustaminen 45
Lainoitus 46
Työvoima 48

5. SOVELLUTUSESIMERKKI 50
51. Koetaimitarhan esittely 50
52. Mallin lähtötiedot 51
53. Mallin ratkaisu 54
Yleistä 54
Taimien tuotanto- ja myyntisuunnitelma 54
Pitkävaikutteisten tuotannontekijöiden osto- ja myyntisuunnitelma 56
Työvoiman käyttö 57
54. Varjohintojen analyysi 58
6. PÄÄTELMIÄ 64
KIRJALLISUUS 65
SUMMARY 66
LIITTEET 71

1. JOHDANTO

11. Suomen taimitarhat ja niiden tuotanto

Alustavan käsityksen taimituotannon laajuudesta saa tarkastelemalla taimituotantoon käytettävää pinta-alaa. Sen määrä mm. omistajaryhmittäin on esitetty taulukossa 1. Taimituotannon kannalta merkittävimpiä ovat keskustaimitarhat, joita on keskusmetsäseura Tapiolla, metsähallituksen piirikunnilla, metsäteollisuusyhtiöillä ja Metsänjalostussäätiöllä. Keskustaimitarhalla saattaa kanta-alueensa lisäksi olla useitakin erillisiä vuokrattuja palstoja. Kokonaispinta-ala vaihtelee huomattavasti ollen vähintään 2 ha, mutta yleensä paljon enemmän.

Taulukko 1. Taimitarhojen pinta-alat omistajaryhmittäin vuoden 1976 lopussa jaettuna avomaa- ja muovihuonealoihin

Table 1. Area of uncovered and plastic-covered seedbeds in nurseries at the end of 1976, by owner groups

Omistajaryhmä *Owner group*	Taimitarhan tehopinta-ala *Effective area of nursery* Hehtaaria — *Hectares*		
	Avomaalla *Open ground*	Muovihuoneessa *Plastic greenhouse*	Yhteensä *Total*
Metsähallitus — *National Board of Forestry*	48,7	13,7	62,4
Metsäntutkimuslaitos — *Forest Research Institute*	10,6	1,1	11,7
Teollisuusyhtiöt — *Industry*	36,7	3,3	40,0
Keskusmetsälautakunta Tapio — *Central Forestry Board TAPIO*	162,7	2,5	165,2
Piirimetsälautakunnat — *District Forestry Boards*			
Metsänhoitoyhdistykset — *Forest Management Associations*	451,3	12,4	463,7
Metsänomistajat — *Private forest owners* ...			
Metsänjalostussäätiö — *Foundation for Forest Tree Breeding*	82,5	3,5	86,0
Muut — Others	1,5	0,5	2,0
Kaikkiaan — *Grand total*	792,0	39,0	831,0

Lähde: Metsätilastollinen vuosikirja 1975.
Source: Yearbook of Forest statistics 1975.

Taulukko 2. Taimitarhojen pinta-alat vuosina 1969—1975 jaettuna avomaa- ja muovihuonealoihin
Table 2. The surface-areas of nurseries, 1969—1975, divided into open ground area and plastic greenhouse area

Vuosi *Year*	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Avomaa — *Open ground*	926,1	926,1	920,3	877,7	877,7	764,8	764,8
Muovihuone — *Plastic greenhouse*	50,2	50,2	48,3	47,4	47,4	48,8	48,8
Yhteensä — *Total*	976,3	976,3	968,6	925,1	925,1	813,6	813,6

Lähde: Metsätilastollinen vuosikirja vuosilta 1969—1975.
Source: Yearbooks of Forest statistics, 1969—1975.

Aiemmin perustettiin tiettyä uudistettavaa tai metsitettävää alaa varten pieniä tilapäistaimitarhoja. Näiden merkitys on aikaa myöten vähentynyt ja sellaisia tuskin enää nykyään on käytössä. Samoin on asianlaita paikallisten taimitarhojen suhteen, joskin muutamia on yhä käytössä. Kerhotaimitarhoja on lukumääräisesti eniten, mutta merkitys taimituotannon kannalta on hyvin pieni, mikä johtuu niiden vähäisestä koosta. Muutenkin on maamme taimitarhojen yhteenlasketussa pinta-alassa viime vuosina tapahtunut laskua (taulukko 2). Edellisten lisäksi on Metsäntutkimuslaitoksella erikoistaimitarha, jossa normaalin taimituotannon ohella tutkimus- ja koetoiminnalla on huomattava sija.

Edellä esitetyn nojalla voidaan todeta, että taimien tuotantovaihtoehtojen valinnassa on ongelmia vain suuren taimivalikoiman ja -tuotannon omaavilla keskustaimitarhoilla. Esimerkiksi on valittu Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarha, koska tämä tutkimus on kokonaisuudessaan suoritettu Metsäntutkimuslaitoksessa. Kun em. taimitarhan toiminnassa on melko hyvin erotettavissa varsinainen käytännön taimituotanto erikoisesti biologis-teknisestä tutkimuksesta, on sen katsottava soveltuvan hyvin myös keskustaimitarhoja varten suoritettavien suunnittelumenetelmien kehittelyyn.

Maassamme käytettiin metsänviljelyyn v. 1975 noin 192 milj. tainta. Näiden jakautuminen eri puu- ja taimilajien kesken on esitetty taulukossa 3. Tässä taulukossa esiintyviä lukuja voidaan käyttää hyväksi suunniteltaessa taimitarhan taimivalikoimaa. Tuotantoon kannattaa yleensä ottaa yleisimpiä taimilajeja, sillä niiden käyttö perustuu usein pitkäaikaiseen käytännön kokemukseen ja tietämykseen ko. taimilajien käyttökelpoisuudesta.

Kun tiedetään taimien myyntihinnat, voidaan laskea metsänviljelyyn käytettyjen taimien rahallinen arvo taimitarhalla. Täksi likimääräiseksi arvoksi saadaan noin 30 milj. mk, kun käytetään taimien hintana Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueella tuotettujen taimien vuodeksi 1975 vahvistettuja hintoja.

Taimien käyttökohteella tarkoitetaan sitä istutusalaa, johon taimitarhalla kasvatetut taimet käytetään. Jokaisen taimitarhan ympärillä on oma käyttöalueensa, jonka suuruus riippuu ensinnäkin taimitarhan tuotannon määrästä. Paikallisten taimitar-

Taulukko 3. Metsänviljelyyn luovutetut taimimäärät v. 1975

Table 3. Plant volumes delivered for forestry purposes in 1975

Taimitarha *Nursery*	Mänty 1 000 kpl — *Pine × 1 000*													
	Paljasjuuriset — *Bare rooted*						Paakkutaimet — *Containerised*							
	Kouli-matto-mat taimet *Untrans-planted stock*	Koulitut taimet — *Transplants*					1 Mk	1 Mt	2 Ar	1+1 Mk 1+1 Ak	1+1 Mt 1+1 At	1+1 Mr 1+1 Ar	Muut *Other*	Yht. *Total*
		1M+1A	1A+1A	2A+1A	Muut *Other*	Yht. *Total*								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Metsähallitus [1]		4 872		359		5 231	8 331	5 313			45	917		14 606
Kml Tapio [1]	80	3 275	518	11 855	1 291	16 939	2 501			14	671			3 186
Piirimetsälautakunta [1]	11 082	13 788	1 204	30 649	663	46 304	10 062	469		110	735	100		11 476
Yksityiset [1]		1 957	360	3 278	180	5 775	1 170	30			551	240		1 991
Metsänjalostussäätiö [1]	1 187	3 610				3 610		484	419				203	1 963
Yhtiöt [1]	779	218		4 284	820	5 322	232		3 046				586	3 864
Metsäntutkimuslaitos [1]	412	562				562	190					602	50	1 032
Yhteensä — *Total*	13 560	28 282	2 082	50 425	2 954	83 743	22 486	6 486	3 465	124	2 859	1 859	839	38 118

Taimitarha *Nursery*	Kuusi 1 000 kpl — *Spruce × 1 000*							Koivu 1 000 kpl — *Birch × 1 000*									Muut *Other*
	Paljasjuuriset — *Bare rooted*						Paakku-taimet *Con-tainerised*	Paljasjuuriset — *Bare rooted*					Paakkutaimet — *Containerised*				
	Kouli-matto-mat taimet *Untrans-planted stock*	1M+2A	2A+1A	2A+2A	Muut *Other*	Yht. *Total*		Kouli-matto-mat *Untrans-planted stock*	Koulitut taimet — *Transplants*								
									I	II	III	IV	Yht. *Total*	1(Lr—Ar)	1(Lk+Ak)	Muut *Other*	Yht. *Total*	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
	1 294	223	10		1 527	857			250			250		90	39	129	135
		598	6 652		7 543	34		119	1 037	1 411	294	2 862		706	3	709	103
250	2 052	384	20 979	711	24 376	50	98	532	2 183	1 035	179	23 929		24		24	35
	380	12	4 772	472	5 636			18	52	132	72	274					
1 592	1 477				1 477	230	1 078		501	963	98	1 562					
			742		742	274	71			55		55			58	58	
		4	371	113	488	150	7	37	455	57	1	550			34	34	
1 842	5 203	1 221	33 526	1 589	41 789	1 595	1 254	706	4 478	3 653	644	9 481		820	134	954	273

Lähde: Metsätalouden Siemen- ja Taimilautakunta, Taimijaosto. Moniste 1976.

Source: Metsätalouden Siemen- ja Taimilautakunta, Taimijaosto. Unpublished research paper 1976.

[1]) *See table 1 in text.*

hojen tuotanto käytetään vuodesta toiseen tietyllä suhteellisen suppealla maantieteellisellä alueella. Keskustaimitarhojen tuottamien taimien käyttöalue on edellistä laajempi. Kunkin taimitarhan tuotantokapasiteetin lisäksi rajoittaa sen taimien käyttöaluetta myös kysynnän ja tarjonnan välinen suhde taimitarhan potentiaalisella markkina-alueella.

Metsähallitus vahvistaa metsätalouden siemen- ja taimilautakunnan tekemien esitysten perusteella vuosittain osaksikin metsänparannusvaroin tuotettavien taimien laatuvaatimukset ja hinnat. Tämä koskee myös sellaisia taimitarhoja, joiden perustamiskustannuksiin on saatu valtion varoja. Vaikka vahvistetut hinnat eivät sidokaan muuta taimikauppaa, noudatetaan niitä yleisesti kaikessa metsäpuiden taimikaupassa. Edellyttäen, että esim. taimien laatu on eri taimitarhoilla sama, määräävät siis kuljetuskustannukset eri taimitarhoilta kunkin istutusalueen suhteen edullisimman taimitarhan. Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla ja Metsänjalostussäätiön Pieksämäen taimitarhalla tehdyn tutkimuksen mukaan olivat taimien keskimääräiset kuljetuskustannukset vuosina 1971 ja 1972 0,20 p/km/100 kpl ja 0,29 p/km/100 kpl (Ruottinen 1975). Taimien keskimääräinen hinta taimitarhalla oli em. ajankohtana vastaavasti 8,22 p/kpl ja 9,95 p/kpl, joten voidaan todeta, että kuljetuskustannus sadan kilometrin matkalta oli v. 1971 keskimäärin 2,4 % taimen hinnasta taimitarhalla ja v. 1972 vastaavasti 2,9 %. Taimien keskimääräinen kuljetusmatka oli samoilla taimitarhoilla pienentynyt vuoden 1971 156 kilometristä vuonna 1972 136 kilometriin. Mikäli tämä edustaa yleistä kehityssuuntaa, sitä voidaan yleisesti ottaen pitää positiivisena.

Ennakoitaessa taimitarhan taimien kysyntää, saattaa siihen vaikuttaa esim. taimitarhan »maine», joka voi pohjautua aikaisempiin kokemuksiin tai ennakkoluuloihin. Kuitenkin on todettava, että nykyisin pitkälle kehitettyjen ja suurelta osalta yhdenmukaisten tuotantomenetelmien johdosta eri tarhoilla, varsinkin suuremmilla, tuotetut taimet ovat keskenään hyvin vertailukelpoisia. Tuotannon luonteesta johtuvaa vaihtelua kuitenkin esiintyy. Lisäksi voidaan todeta, että taimien käyttäjät ovat sidotut taimitarhoihinsa ennen kaikkea organisatorisesti, metsähallituksen hoitoalueet omiinsa ja yksityiset maanomistajat sen piirimetsälautakunnan taimitarhaan, jonka alueella metsälöt ovat. Näin ei alalla vallitse juuri minkäänlaista kilpailua, kun viimeisetkin sitoutumattomat taimien tuottajat ovat luopuneet toiminnasta hintakilpailun vuoksi.

12. Ongelman asettelu ja tavoitteet

Taimitarha on monituoteyritys, jonka tuotevalinnan ongelma on jo kauan ollut tiedostettu (Kuokkanen 1971). Tässä tutkimuksessa tarkastellaan männyn, kuusen ja rauduskoivun eri taimilajien tuottamista. Kuten jatkossa tullaan huomaamaan voidaan samaakin taimilajia tuottaa eri menetelmiä käyttäen. Eri menetelmät vaativat tuotannontekijöitä (esim. työvoima, kylmähuonetila jne.) erilailla. Näin ollen muodostuvat eri menetelmien kustannuksetkin erilaisiksi.

Ongelma voidaan siis ilmasta seuraavasti: mitä taimilajeja tuotetaan, millä menetelmillä ja kuinka paljon, ottaen huomioon, ettei tuotannon missään vaiheessa taimitarhan äärellisiä tuotannontekijä- ja rahoitusresursseja saa ylittää. Tuotantoa rajoittavana tekijänä voi olla mikä tahansa taimitarhan resursseista. Taimien kasvatusaika vaihtelee yhdestä neljään vuoteen. Tänä aikana taimi (taimierä) voidaan syksyisin ja keväisin tulkita valmiiksi tuotteeksi tai puolivalmisteeksi. Täten on syksyisin ja keväisin päätettävä myydäänkö taimi vai jatketaanko sen kasvatusta. Tästä syystä ei taimitarhan tuotantoa ole perusteltua lähteä suunnittelemaan vain yhdeksi vuodeksi kerrallaan.

Kaikessa tuotantotoiminnassa on syytä pyrkiä resurssien mahdollisimman taloudelliseen käyttöön. Tavoitteeksi voidaan siten asettaa esimerkiksi mahdollisimman suuri tuotanto tietyn suuruisilla kustannuksilla tai tietyn suuruinen tuotanto mahdollisimman pienin kustannuksin. Tässä tutkimuksessa on tavoitteeksi asetettu taimien tuottaminen siten, että tarkasteltavan ajanjakson kuluessa (suunnitteluajanjakso) tuotantotoiminnan prolongoitu kumulatiivinen katetuotto muodostuisi mahdollisimman suureksi. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi kehitetään tässä tutkimuksessa suunnittelumalli, mistä saadaan vastaus edellä esitettyyn taimilajeja, niiden määriä ja tuotantomenetelmiä koskevaan kysymykseen.

Katetuoton laskenta perustuu toisaalta siihen, että metsähallitus vahvistaa vuosittain taimien myyntihinnat taimilajeittain, toisaalta siihen, että eri tuotantomenetelmillä tuotettujen taimien tuotantokustannukset pystytään taimitarhalla riittävän hyvin estimoimaan. Tällöin mallin jatkuvaa käyttöä ajatellen olisi sen tueksi kehitettävä riittävän yksityiskohtainen kustannuslaskentajärjestelmä. Tälläisen järjestelmän luominen taimitarhoille on jo pitkään muistakin syistä ollut ajankohtaista (vrt. K u o k k a n e n 1970 ja K e l t i k a n g a s 1971). Koivulla on sovellettu vuodesta 1972 lähtien kokoluokittaista hinnoittelua taimilajittaisen hinnoittelun sijasta. Tästä johtuen tämän tutkimuksen yhteydessä onkin koivun taimilajeille määritetty niiden luokittaisten hintojen odotusarvot. Näitä on sitten sovellettu koivun eri taimilajien hinnoittelussa.

Metsähallitus on 2. 9. 1976 tekemällään päätöksellä muuttanut paljasjuuristen männyn ja kuusen taimien lajitteluehtoja siten, että vuoden 1977 alusta lukien ko. taimet lajitellaan kokoluokituksen mukaan kuten koivun taimetkin. Käytännössä havupuiden kokoluokitusta sovelletaan lajitteluohjeena taimitarhoilla ensimmäisen kerran syksyllä 1976 taimi-inventaaria laadittaessa ja koskien taimieriä, jotka myydään keväällä 1977. Tässä uudessa tilanteessa joudutaan siten havupuiden taimien arvostuksessa menettelemään samoin kuin koivuntaimien yhdeydessä on tehty. Tässä tutkimuksessa esitetyssä sovellutusesimerkissä ei kuitenkaan vielä ole uutta luokittelua sovellettu, vaan havupuiden taimien hinnoittelussa on perustana taimen kasvatushistoria (taimilaji) eikä taimen koko.

2. TAIMITARHA-MONITUOTEYRITYS

21. Tuotannontekijät

Taimitarhan pitkävaikutteisiin tuotannontekijöihin kuuluu tutkimuksessa muovihuoneet (kesämuovihuoneet ja lämmitettävät muovihuoneet), kylmähuoneet, traktorit ja tietysti itse tuotantoon käytettävissä oleva maa. Useat taimitarhat vuokraavat koulinta-alaa korkeasuhdanteen vuosina. Niinpä taimitarhalla viljelyyn käytettävissä oleva maa-ala voi vuosittain huomattavastikin vaihdella. Samoin on asianlaita myös muiden pitkävaikutteisten tuotannontekijöiden kohdalla.

Taimitarhalla on yleensä myös muita koneita kuin traktoreita. Näistä voidaan mainita esim. koulintakoneet, trukit jne. Näiden käsittely kehitettävässä mallissa olisi soveltuvin osin samanlainen kuin traktoreiden (koulintakoneen vuokraaminen tuskin tulisi kysymykseen, traktoreita sen sijaan on oletettu voitavan myös vuokrata). Toisaalta voidaan todeta, että niiden merkitys joko rahoitustilanteen (koulintakone) tai tuotannon (trukki, auto) kannalta on vähäarvoinen. Lisäksi traktoreita on kaikilla tutkimuksen kohteena olevilla taimitarhoilla. Täten on päädytty vain traktorit huomioon ottavaan ratkaisuun. Pitkävaikutteisista tuotannontekijöistä tarkastellaan osin myös ohjaavia työsuorituksia.

Lyhytvaikutteisista tuotannontekijöistä tarkastellaan työvoimaa (taimitarhalle varsinaiseksi tuotantokaudeksi palkattavaa työvoimaa) sekä raaka-aineita ja tarvikkeita (siemenet, lannoitteet, kasvinsuojeluaineet, pakkaustarvikkeet ym.). Työvoimaa tarkastellaan sekä tuotantotekniikan kannalta (työvoiman saannin jakautuminen tuotantokauden aikana) että sen aiheuttamien kustannusten kannalta. On syytä huomauttaa, että juuri työpalkat muodostavat huomattavan osan taimitarhan kokonaiskuluista. Esim. vv. 1961—66 ne olivat noin puolet kaikista kustannuksista (K e l t i k a n g a s ja T i i l i l ä 1968).

22. Tuotteet

Taimilajin merkitseminen

Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen metsänviljelyn koeasemalla kasvatettavien taimilajien merkitsemiseksi on annettu yksityiskohtaiset ohjeet (R a u l o ja H i n t t a l a 1972). Tätä merkitsemistapaa noudatetaan nykyisin yleisesti maamme taimitarhoilla. Tässä tutkimuksessa käytetään kuitenkin edellä mainitusta poikkeavaa merkitsemistapaa, koska taimen kasvatushistoria halutaan kuvata yksikäsitteisesti merkkijonona. Niinpä kun yleensä käytetään esimerkiksi merkintää 2 A, käytetään sen asemesta seuraavassa merkintää Aa, jotta myöhempänä selvitettävistä kasvatusvaiheista A ja a saataisiin johdonmukaisesti koostetuksi taimen koko kasvatushistoria. Sivulla 16 ja luvussa 23 esitettävät taimilajien teknisiin tuotantoketjuihin liittyvät symbolit ja niiden merkitys on selvitetty myös liitteessä 1.

Kasvatuspaikkaa ilmaisevat päätunnukset ovat:

L = Lämmitettävä muovihuone
M = Kesämuovihuone
A, a = Avomaa

Paakkutaimille käytetään tässä tutkimuksessa kasvatuspaikkaa ilmaisevien päätunnusten yhteydessä vielä seuraavia lisätunnuksia, mitkä merkitään päätunnuksen jälkeen:

h = kylvö tai koulinta on suoritettu muovirulliin
t = . . . turveruukkuihin
k = . . . paperikennoihin
y = . . . jollakin edellä esittämättömällä menetelmällä.

Kevät- ja kesäkoulinta ilmaistaan plus-merkillä ja syyskoulinta vinoristillä (siis + ja ×). Syyskoulinnan katsotaan alkavan elokuun alussa. Taimen siirto ilman koulintaa merkitään vaakasuoralla viivalla ja kasvuolosuhteiden vaihdos ilman siirtoa tai koulintaa pilkulla (siis — ja,). Mikäli taimen kasvuolosuhteet vaihtuvat kasvukauden aikana, merkitään kyseiset vaiheet sulkuihin, muussa tapauksessa ei sulkuja siis käytetä.

Taimen kasvatusaika vuosissa käy ilmi taimen kasvatushistoriaa kuvaavasta merkkijonosta. Taimen kasvatusaika voidaan ilmaista kuitenkin myös kuukausina, viikkoina tai vuorokausina. Noudatettaessa nykyisin käytössä olevaa merkintätapaa liitetään tällöin vastaavan kirjaintunnuksen (kk, vko, vrk) eteen luku, joka ilmaisee kuinka monta kuukautta, viikkoa tai vuorokautta ko. taimi on kasvanut niissä olosuhteissa, jonka jäljessä oleva kirjaintunnus ilmaisee. Tässä tutkimuksessa luovuttiin tälläisesta menettelystä merkintöjen yksinkertaistamiseksi ja lyhentämiseksi. Voidaan sopia yksinkertaisesti siten, että kirjaintunnuksen edessä oleva luku ilmoittaa, montako vuorokautta taimi on kasvanut kirjaintunnuksen ilmoittamissa olosuhteissa. Kasvatusaika ilmaistaan joskus myös lämpösummana. Nykyisin käytössä olevaa tapaa noudatettaessa se kirjoitetaan kasvatuspaikkaa ilmaisevien pää- ja lisätunnusten yläindeksiksi. Seuraavassa se tästä tavasta poiketen kuitenkin liitetään välittömästi pää- ja lisätunnusten jälkeen. Nykyään on kovin harvinaista, että taimen kasvatusaika ilmaistaan vuorokausina tai lämpösummana. Tulevaisuus kuitenkin saattaa muuttaa tilanteen ja siksi tässä yhteydessä myös nämä merkitsemistavat on otettu huomioon. Asian selventämiseksi esitetään vielä esimerkkejä taimilajien merkitsemisestä sekä yleisesti käytössä olevalla että tässä tutkimuksessa omaksutulla tavalla. Ensin yleisesti käytössä oleva merkintä ja tästä puolipisteellä erotettuna tämän tutkimuksen merkintätapa.

1 A; A = Yksivuotinen, avomaalla kasvanut taimi

1 A + 1 A; A + a = Kaksivuotinen taimi, joka on kasvanut vuoden avomaalla, koulittu keväällä tai kesällä ja kasvanut sen jälkeen toisen vuoden avomaalla

1 M × 2 A; M × aa = Kolmivuotinen taimi, joka on aluksi kasvanut vuoden muovihuoneessa, koulittu syksyllä ja kasvanut tämän jälkeen kaksi vuotta avomaalla

(21 vrk Lk); (21 Lk) = Taimi on kasvanut 21 vuorokautta lämmitettävässä muovihuoneessa paperirullassa

(L^{400} + A^{1000}); (L 400 + a 1000) = Taimi on kasvanut aluksi lämmitettävässä muovihuoneessa ja »nauttinut» siellä 400 dd:tä, koulittu kesällä avomaalle ja »nauttinut» siellä samana kasvukautena vielä 1000 dd:tä.

Taimituotannon tarve

Lähdettäessä suunnittelemaan taimitarhalle tuotanto-ohjelmaa, nousee päällimmäiseksi kysymys siitä, kuinka paljon ja mitä taimilajeja tuotetaan. Ensin olisi siis selvitettävä taimitarhan erilaisten

taimien kysyntä. Vasta kun se on selvitetty, voidaan ryhtyä vertailemaan eri menetelmiä tarvittavan tuotannon aikaansaamiseksi.

Nykyisin voimassa oleva yksityismetsälaki kieltää metsien hävittämisen. Vaikka laissa ei olekaan riittävästi kiinnitetty huomiota materiaalisten säännösten käsittelyyn ja vaikka se osaltaan onkin vanhentunut eikä nimenomaisesti edellytä kestävän metsätalouden harjoittamista, pyrkii se kuitenkin nykyisen tilan säilyttämiseen (Holopainen 1970). Ryhdyttäessä hakkuulla käsittelemään uudistettavaa metsää, on lain mukaan varmistauduttava siitä, että hakatun tilalle syntyy uusi metsä joko luontaisesti tai viljellen (Viljo 1970). Jos uudistamista ei haluta tai ei voida, kuten yleensä on asianlaita vajaatuottoisten metsien kohdalla, suorittaa luontaisesti, jää ainoaksi mahdollisuudeksi viljely. Vuosien 1970—74 aikana on viljelyllä uudistettu ala ollut keskimäärin n. 136 720 ha, josta istutuksen osuus keskimäärin n. 107 600 ha eli 79 % (Metsätilastollinen vuosikirja 1974). Vastaavana aikana on taimia käytetty metsänistutukseen (sis. täydennysistutuksen) keskimäärin 228 milj. kappaletta. Määrä on vuodesta 1971 lähtien jatkuvasti vähentynyt ollen v. 1974 n. 202,4 milj. (Metsätilastollinen vuosikirja 1970—74).

Metsäteollisuuden raaka-ainetilanteen kiristyessä olisi vajaatuottoisten metsiemme uudistamista yhä voimaperäistettävä. Vajaatuottoisten metsien osuus oli vuosina 1963—70 koko maan metsämaan alasta 18,8 % (Metsätilastollinen vuosikirja 1974). Metsänhoito- ja perusparannustöiden tavoiteohjelmien mukaan tulisi vuosina 1975—80 metsänviljelyn olla vuosittain perusohjelman mukaan 140 000 ha ja minimiohjelman mukaan 150 000 ha sekä MERA III-ohjelman mukaan vuonna 1976 230 000 ha nousten tasaisesti vuoden 1980 250 000 hehtaariin. Näihin lukuihin sisältyy täydennysviljely, mutta ei peltojen metsitystä, joka on nykyisin tullut ajankohtaiseksi pyrittäessä vähentämään maatalouden ylituotantoa. On kuitenkin ilmeistä, että edellä esitettyihin tavoitteisiin ei päästä ainakaan lähitulevaisuudessa. Niinpä vuonna 1977 julkistetussa puuntuotanto-ohjelmassa onkin tyydytty vuoden 1982 metsänviljelyn osalta vain 138 000 hehtaarin vuotuiseen tavoitteeseen. Metsänparannuslain (425/1969) sekä pellonvarauslain (216/1969) perusteella metsitettiin maassamme vuosina 1969—1973 yhteensä 44 900 ha, josta peltojen metsitystä oli 36 500 ha (Selby 1975). Minimiohjelmassa on vuosina 1976—80 edellytetty n. 10 000 ja MERA III-ohjelmassa vastaavasti n. 30 000 peltohehtaarin metsittämistä vuosittain. On kuitenkin ilmeistä, ettei näitäkään lukuja tulla saavuttamaan.

Se, millaisia taimia istutusaloille tarvitaan, riippuu kasvupaikan ekologisista olosuhteista, maan laadusta ym. kasvutekijöistä. Kasvutekijät eivät kuitenkaan yksikäsitteisesti määrää istutusalalle »ainoaa ja oikeaa» taimilajia, vaan joukon sopivia taimilajeja. Eri taimilajit ovat siten osittain toisiaan korvaavia. Tämä luo joustavuutta taimilajittaisia tuotantomääriä ennakoitaessa.

Valtakunnallisesti asiaa tarkasteltaessa voidaan todeta, että kun koko maan tai sen tietyn osan taimituotannon tarve on ennustettu, päästään tästä ennusteesta taimitarhakohtaiseen ennusteeseen esimerkiksi

a) taimitarhan tehopinta-alaa tai
b) aikaisempaa tuotantoa

jakoperustana käyttäen laskettaessa ko. taimitarhan taimituotannon osuutta koko ennusteesta. Edellinen menetelmä ottaa huomioon taimitarhan pinta-alassa tapahtuvat muutokset ja jälkimmäinen menetelmä taas myös tuotantotekniikan. Niinpä jakoperustana voisi olla myös näiden eräänlainen lineaarikombinaatio. Taimien käyttäjät ovat organisatorisesti sidotut taimitarhoihinsa. Yksityisten taimitarhojen puuttuessa voidaan todeta, että alalla näin ollen ei esiinny lainkaan vapaata kilpailua. Koska käsillä oleva tutkimus keskittyy lähinnä kysymykseen, miten tuotetaan, ei tässä yhteydessä ole katsottu aiheelliseksi käsitellä eri taimilajien kysynnän muodostumista tämän syvällisemmin, vaan kysyntäryhmittäiset (ks. luku 32) kysyntäluvut on oletettu tunnetuiksi. Sovellutustilanteessa käytetyt kysynnän minimi- ja maksimiarvojen kysyntäryhmittäiset arviot, joiden oletetaan pysyvän vakiona koko suunnitteluhorisontin ajan, on esittänyt metsäntutkimuslaitoksen aluemetsänhoitaja Teuvo Hinttala (Hinttala 1977) ja ne on esitetty liitteen 3 taulukossa 15.

23. Tuotantomenetelmät

Yleistä

Ohjeita metsäpuiden taimien kasvattamiseksi on annettu useissa eri lähteissä (esim. R a u l o 1974). Nämä ohjeet ovat yleensä hyvin yksityiskohtaisia (siemenen valinta, lannoitteet ym.) ja koskevat pääosin viljelyn biologiaa. Tässä tutkimuksessa ei ole tarkoitus puuttua lainkaan näihin seikkoihin, vaan jatkossa tarkastellaan taimien tuottamista yksinomaan taloudellisena ja teknisenä kysymyksenä. Saman lopputuloksen antavien erilaisten tuotantoketjujen olemassaolo antaa mahdollisuuden taimitarhatyön joustavampaan järjestelyyn kuin jos kukin taimilaji voitaisiin tuottaa vain yhdellä ainoalla tavalla. Koko tuotantoa koostettaessa voidaan eri taimilajien tuotantoketjuja yhdistellä monin tavoin ja vertailla näin syntyviä tuotantovaihtoehtoja esim. niiden tuoton ja resurssien tarpeen suhteen.

Kuten edellä mainittiin, tullaan taimien kasvatushistoria kuvaamaan merkkijonona. Tässä luvussa selvitetään yksityiskohtaisesti merkkijonoissa esiintyvien merkkien tarkoittamat työvaiheet. Näin menetellään osaltaan siksi, että saataisiin havainnollinen kuva kunkin taimen kasvatukseen ja myyntiin liittyvistä työvaiheista ja osaltaan siksi, että kunkin taimen muuttuvat tuotantokustannukset (sis. myynnin) selvitetään näiden työvaiheiden työ-, raaka-aine- ja tarvikemenekin pohjalta. Tuotantoketjujen työvaiheista otoksilla lasketut työmenekit auttavat myös selvittämään, miten eri taimilajien ja eri tuotantoketjuilla tuotettujen samojen taimilajien työmenekki jakautuu tuotantokauden aikana.

Jokainen taimilaji voidaan periaatteessa tuottaa useilla erilaisilla tuotantoketjuilla. Todettakoon, että esim. merkintä M tarkoittaa yhden vuoden muovihuoneessa kasvatettua tainta. Taimet kasvavat kuitenkin vain osan vuodesta ja ovat talven horroksessa, joten olisi oikeampaa puhua tässä tapauksessa yhden kasvatuskauden kasvaneesta taimesta. Keväällä muovihuoneeseen istutetun ja syksyllä myytävän taimen merkintä on M, mutta edellisestä johtuen aivan samoin on ko. taimen merkintä M, jos se myydään seuravana keväänä. Tässä on esimerkki siitä, miten M-taimi voidaan tuottaa kahta erilaista tuotantoketjua käyttäen. Samoin noudatettessa sivulla 13 esitettyjä merkintöjä, ei minkään taimilajin merkinnästä käy selville, myydäänkö taimi syksyllä kasvukauden päätyttyä vaiko keväällä ennen kasvukauden alkua.

Edellä sanotusta syystä on tässä tutkimuksessa käytettävistä lyhenteistä käytävä ilmi myös taimen myyntiaika. Tätä varten merkitään tunnuksen jälkeen sulkuihin ms osoittamaan, että taimi myydään syksyllä ja mk kun taimi myydään seuraavana keväänä. Sellaista mahdollisuutta, että taimi olisi esim. koko seuraavan kasvukauden tai vielä pidempään kylmävarastossa, ei oteta huomioon. Merkinnästä M(mk) ei kuitenkaan käy vielä selville, mitä taimelle on tehty syksyllä kasvukauden päätyttyä. On voitu menetellä seuraavilla vaihtoehtoisilla tavoilla:

a) taimi on jätetty paikoilleen
b) se on valeistutettu syksyllä tai
c) nostettu kylmävarastoon.

Kahta jälkimmäistä menettelyä voidaan käyttää helpottamaan kevään töiden ruuhkautumista taimitarhalla. Tuotantoketjun myyntitunnuksen eteen asetetaan tunnus S_1, S_2 tai S_3 osoittamaan, mikä em. syksyllä suoritettavista toimenpiteistä on kyseessä. Niinpä esim. M(S_3mk) tarkoittaa keväällä muovihuoneeseen istutettua, syksyllä kylmävarastoon nostettua tainta, joka seuraavana keväänä myydään.

Vastaavasti menetellään kevätkoulinnan yhteydessä. Edeltävän kasvatusvaiheen jälkeen liitetään siis sulkuihin tunnus, joka ilmaisee mitä taimelle on tehty syksyllä. Syyskoulinnan yhteydessä ei esiinny vaiheita S_2 ja S_3. Tällöinhän taimi siirretään kasvupaikaltaan suoraan tai mahdollisen välivarastoinnin kautta uuteen kasvupaikkaan. Syyskoulintaan liittyy siis aina vaihe S_1. Myös itse koulinta voidaan suorittaa useilla vaihtoehtoisilla menetelmillä, joista mainittakoon mm. konekoulinta,

rullakoulinta, lautakoulinta sekä Lindell-koulinta. Kaksi jälkimmäistä soveltuvat pienille taimitarhoille, joita ei kannata koneellistaa. Lautakoulinta on lähes kokonaan hävinnyt muilta kuin 4 H-Liiton kerholaisilta. Suurilla taimitarhoilla näitä menetelmiä sovelletaan vain sellaisilla aloilla tai joidenkin sellaisten, yleensä suurikokoisten erikoistaimien koulimiseen, joilla ei kone- eikä rullakoulintaa voida tai ei ole järkevää käyttää. Käytännössä näiden kahden jälkimmäisen koulintatavan osuus tutkimuksen kohteena olevilla taimitarhoilla on häviävän pieni. Näin ollen seuraavassa esiteltäviin tuotantoketjuihin sisällytetään vain kone- ja rullakoulinta. Konekoulinnan ollessa kyseessä asetetaan koulintaa osoittavan merkin oikeaan alakulmaan k ja rullakoulintaa käytettäessä r. Esimerkiksi merkintä $M(S_2)+_k a(S_1 mk)$ tarkoittaa taimia, jotka ovat ensimmäisen kasvukauden kasvaneet muovihuoneessa, syksyllä ne on valeistutettu ja seuraavana keväänä konekoulittu valeistutuksesta avomaalle, jossa ne ovat olleet seuraavan kasvukauden, talvehtineet paikallaan ja keväällä myyty.

Seuraavaksi esitetään kaikkien puulajien taimien tuotantoketjujen yhteiset osat (kasvatusvaiheet) eli:

a) taimille syksyllä tehtävät toimenpiteet
b) koulintatoimet sekä taimen myynti

Sanallisen kuvauksen jälkeen on suluissa tuotantoketjun vastaava merkki tai merkit. Alin taso kuvaa tuotantoketjun eri työvaiheita. On selvää, että tuotantoketjujen kaikkia työvaiheita ei voi luettelossa esittää siinä järjestyksessä kuin ne taimitarhalla suoritetaan. Näin siksi, että niiden järjestys todellisuudessakin vaihtelee ja ne ovat osittain limittäisiä. Lisäksi jotkut työvaiheet ovat toistuvia. Tällainen työvaihe kirjoitetaan kasvatusvaihetta kuvaavaan ketjuun vain kerran. Näin on asianlaita esim. lisälannoitusten ja kastelun suhteen.

Taimelle syksyllä tehtävät toimenpiteet (S_1, S_2, S_3)

Paikallejättö (S_1)
— talvituhosienten torjunta
Valeistutus (S_2)
— taimityyppiluokitus (vain koivulle)
— peruskastelu
— nosto
— lajittelu (rullataimilla myös leikkaus)
— niputus
— juurten peittäminen
— talvituhosienten torjunta
Kylmävarastointi (S_3)
— taimityyppiluokitus (vain koivulle)
— peruskastelu
— nosto
— lajittelu (rullataimilla myös leikkaus)
— niputus
— talvituhosienten torjunta
— käsittely tukkimiehentäitä vastaan (vain männylle)
— pakkaus
— kuljetus kylmävarastoon

Koulintatoimet ($+_k$, $+_r$, $\times_k$, $\times_r$)

Koulinta kasvupaikalta (syyskoulinta tai koulinta keväällä, edeltävä toimenpide S_1)
— koulinta-alan kunnostus

— alueen peruslannoitus
— jyrsintä
— koulintamaan tasaus
— peruskastelu
— peruskastelu
— nosto
— lajittelu
— niputus
— valeistutus
— pakkaus muovilaatikoihin
— kuljetus
— kylmävarastoon
— koulintapaikalle
— koulinta
— konekoulinta
— rullakoulinta

Koulinta valeistutuksesta (edeltää S_2)
— koulinta-alan kunnostus
— alueen peruslannoitus
— jyrsintä
— koulintamaan tasaus
— peruskastelu
— pakkaus muovilaatikoihin
— kuljetus
— kylmävarastoon
— koulintapaikalle
— koulinta
— konekoulinta
— rullakoulinta

Koulinta kylmävarastosta (edeltää S_3)
— koulinta-alan kunnostus
— alueen peruslannoitus
— jyrsintä
— koulintamaan tasaus
— peruskastelu
— kuljetus koulintapaikalle
— koulinta
— konekoulinta
— rullakoulinta

Taimien myynti (mk, ms)

Myynti kasvupaikalta (edeltää S_1)
— taimityyppiluokitus (vain koivulle)
— peruskastelu
— nosto
— lajittelu (rullataimilla myös leikkaus)
— niputus
— käsittely tukkimiehentäitä vastaan (vain männylle)
— pakkaus
— lähetys

Myynti valeistutuksesta (edeltää S_2)
— käsittely tukkimiehentäitä vastaan (vain männylle)
— pakkaus
— lähetys
Myynti kylmävarastosta (edeltää S_3)
— lähetys

Yllä olevasta käy ilmi, että saman taimilajin tuottamiseksi voidaan muodostaa erilaisia tuotantoketjuja, joissa samatkin työvaiheet sijoittuvat kasvatuskauden eri ajankohtiin. Tällaisten tuotantoketjujen avulla on mahdollista tasoittaa työkapasiteetin tarvetta kasvatuskauden sisällä. M-taimi voidaan tuottaa esim. ketjulla M(S_1mk) tai M(S_3mk). Edellisessä vaihtoehdossa kasaantuvat kaikki myyntiin liittyvät työt kevääksi kun taas jälkimmäisessä vaihtoehdossa suurin osa myyntiin liittyvistä töistä on tehty jo syksyllä ja kevääksi jää vain taimien lähetys. Seuraavassa luvussa tarkastellaan eri puulajien taimien kasvattamisen edellyttämien tuotantoketjujen osien sisältämiä työvaiheita ja niiden merkintöjä. Esitettävät tuotantoketjujen osat on valittu lähinnä metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhan tuotantoon perustuen.

Kuusen taimien tuottaminen

Tuotantovaihe M:

— kasvuturpeen ajo muovihuoneisiin
— kasvuturpeen levitys
— peruslannoitus
— jyrsintä
— muovihuoneiden kattaminen
— kylvöpenkkien teko
— peruskastelu
— kylvö
— jyräys
— kastelu
— lisälannoitukset
  — rakeisena
  — liuoksena
— kasvinsuojelu
  — kemiallinen
  — mekaaninen
— muovien poisto muovihuoneista
— inventointi

Tuotantovaihe A:

— peruslannoitus
— jyrsintä
— kylvöpenkkien teko
— peruskastelu
— kylvö
— jyräys
— lisälannoitukset

— rakeisena
— liuoksena
— kasvinsuojelu
— kemiallinen
— mekaaninen
— inventointi
Tuotantovaihe a:
— kastelu
— lisälannoitukset
— rakeisena
— liuoksena
— kasvinsuojelu
— kemiallinen
— mekaaninen
— inventointi
Tuotantovaihe ar:
— samanlainen kuin tuotantovaihe a

Männyn taimien tuottaminen

Tuotantovaiheet M, A, a, ar samanlaiset kuin kuusen taimien tuotantoketjuissa.

Tuotantovaiheet Mk ja Lk:
— kennojen täyttö
— kennojen asettelu kasvupaikalle
— kylvö
— kastelu
— lisälannoitukset
— rakeisena
— liuoksena
— taimien siirto ulos
— kasvinsuojelu
— kemiallinen
— mekaaninen

Tuotantovaiheet Mt ja Lt:

— ruukkujen asettelu kasvatusalustalle
— ruukkujen täyttö
— kylvö
— asettelu kasvupaikalle
— kastelu
— lisälannoitukset
— rakeisena
— liuoksena
— taimien siirto ulos
— kasvinsuojelu
— kemiallinen
— mekaaninen

Koivun taimien tuottaminen

Tuotantovaiheet M, A, a ja Lk kuten kuusen ja männyntaimien tuotantoketjuissa

Tuotantovaihe (Lk + a)
— kennojen täyttö
— kennojen asettelu kasvupaikalle
— peruskastelu
— kylvö
— kastelu
— lisälannoitukset
  — rakeisena
  — liuoksena
— taimien siirto ulos
— kasvinsuojelu
  — kemiallinen
  — mekaaninen
— koulinta kasvupaikalta
— kastelu
— lisälannoitukset
  — rakeisena
  — liuoksena
— inventointi

24. Taimitarhan toimintakaavio

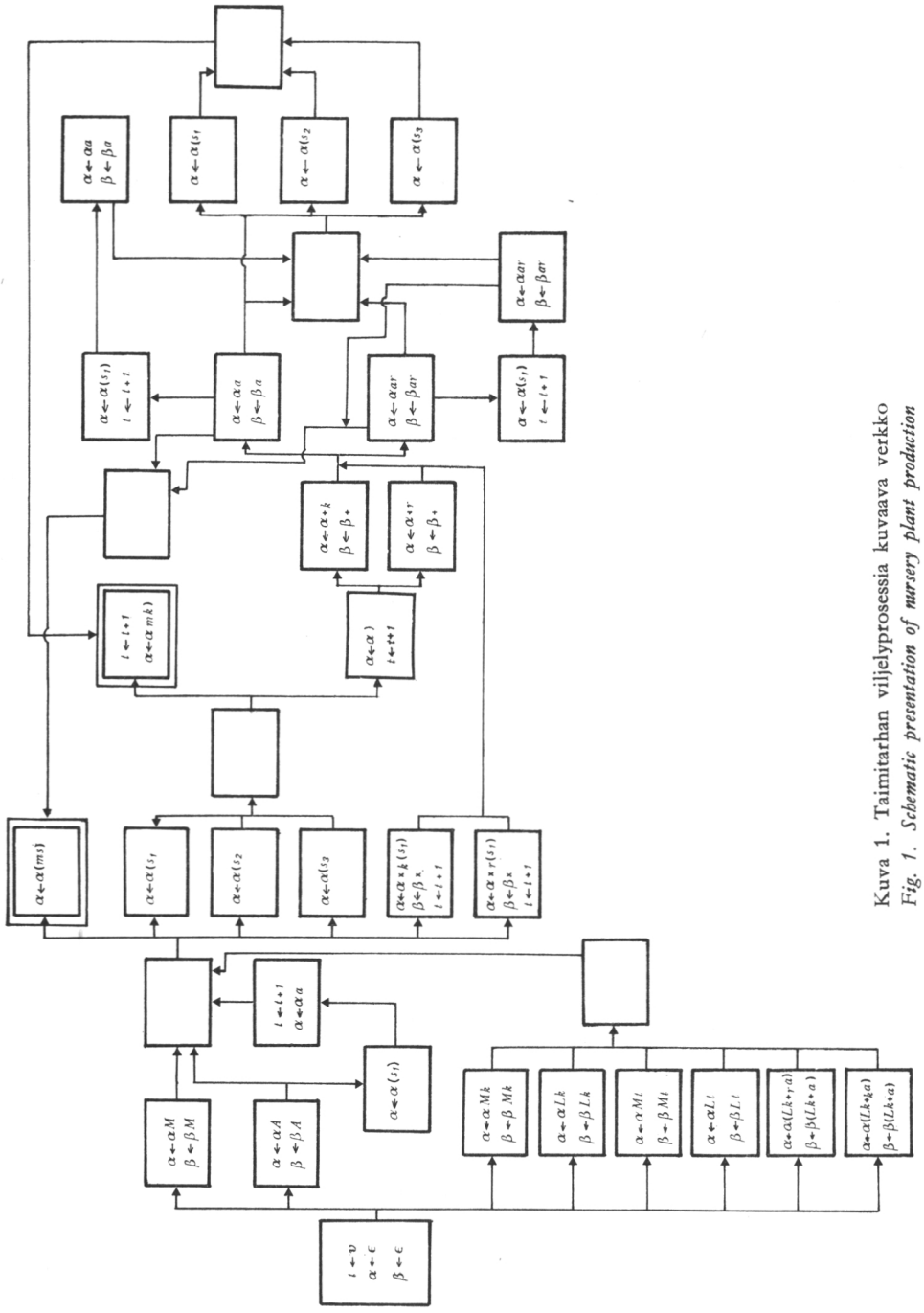
Niin kuin edellä todettiin, taimien viljely taimitarhalla tapahtuu yhtenäisinä tuotantoketjuina, joita voidaan lyhyesti esittää merkkijonojen muodossa. Taimitarhan viljelytoiminnassa on tavallisesti käynnissä rinnakkaisesti useaa sopivasti valittua tuotantoketjua koskeva tuotanto. Nämä tuotantoketjut puolestaan muodostuvat kasvatusvaiheista ja niiden osina olevista työvaiheista (luku 23).

Seuraavassa taimitarhan toimintaa kuvataan verkkona (kuva 1). Liikkeelle lähdetään ruudusta, jossa asetetaan $\alpha \leftarrow \varepsilon$, $\beta \leftarrow \varepsilon$ ja $t \leftarrow v$. Tämä vastaa yhden tuotantoketjun alullepanoa (ε on tyhjä merkkijono eli kyseessä on mikä tahansa vaihtoehtoisen tuotantoprosessin alkuvaihe). Tämän jälkeen edetään nuolien mukaan ruudusta toiseen. Jos ruudusta lähtee useampia nuolia, on tällöin mahdollista haarautua mihin tahansa niistä. Ruutuun saapuminen vastaa tuotantoprosessin edellisen kasvatusvaiheen päättymistä ja ruutuun merkityn kasvatusvaiheen alkua. Tätä kuvaa asetus $\alpha \leftarrow \alpha\gamma_1$, missä γ_1 edustaa mitä tahansa sivulla 16 esitetyistä teknisen tuotantoketjun kasvatusvaiheista. α on siis merkkijono, jossa ei aluksi ole yhtään merkkiä ja jonka loppupäähän lisätään todellisuudessa suoritettavaa kasvatusvaihetta kuvaava merkkiyhdistelmä. Asetuksella $\beta \leftarrow \beta\gamma_2$ aikaansaadaan taimilajia kuvaavan merkinnän muodostuminen merkkijonoon β. Edellä on γ_2:lla merkitty mitä tahansa sivulla 13 esitettyä kasvupaikka- tai muuta vastaavaa tunnusta. Verkkoon on joihinkin kohtiin liitetty tyhjiä apuruutuja kaavion selventämiseksi. Nämä eivät siis vastaa mitään toimintaa. Mitään nuolta pitkin ei voida palata takaisin ja taimen tuotantoketju on lopussa, kun saavutaan ruutuun, jossa on kaksi sisäkkäistä kehystä. Tällainen ruutu kuvaa tuotantoketjun päättymistä eli taimen myyntiä. Kun kehystetyssä ruudussa kuvattu kasvatusvaihe »taimien myynti» (asetus $\alpha \leftarrow \alpha mk$ tai $\alpha \leftarrow \alpha ms$) on suoritettu, on merkkijonosta α luettavissa taimen tekniseen tuotantoketjuun kuuluvien kasvatusvaiheiden merkkilyhenteet ja siten siitä käy selville todellisen tuotantoprosessin kasvatus- ja työvaiheet aikajärjestyksessä merkkijonoa α vasemmalta oikealle tulkittaessa. Merkki-

jonoon β muodostuu teknistä tuotantoketjua α vastaavan taimilajin sivun 16 mukainen merkintä. Kokonaislukumuuttuja t kuvaa suhteellista aikaa tuotantoketjuttain kasvatuskausissa mitattuna. Asetus $t \leftarrow v$ lähtöruudussa merkitsee, että »kellon» t alkuarvoksi asetetaan sen kasvatuskauden numero (kts. luku 32; kasvatuskautta kuvaava indeksi j), jonka alussa tuotantoprosessi käynnistetään. Asetus $t \leftarrow t + 1$ kuvaa kasvatuskauden vaihtumista ja lopetusruudussa on t:n arvona sen kauden numero, jona taimi myydään.

Taimilaji M voidaan tuottaa esim. teknisellä tuotantoketjulla $M(S_3mk)$. Tarkastellaan vastaavaa prosessia kuvan 1 kaaviossa. Ensin asetetaan $\alpha \leftarrow \varepsilon$, $\beta \leftarrow \varepsilon$, $t \leftarrow 1$ (taimen tuotantoprosessi on tässä esimerkissä oletettu käynnistettävän kaudella 1). Tämän jälkeen seuraavat asetukset $\alpha \leftarrow \varepsilon M$ $(= M)$, $\beta \leftarrow \varepsilon M$ $(= M)$ vastaten yhden kesän muovihuonekasvatusta ja edelleen $\alpha \leftarrow \alpha$ $(S_3$ $(= M(S_3)$ (vastaten kylmävarastointia ja lopuksi $t \leftarrow t + 1$ $(= 2)$, $\alpha \leftarrow \alpha mk)$ eli kasvatuskausi vaihtuu ja taimi myydään kauden 2 keväällä, jolloin sen tuotantoketju on siis lopussa. Merkkijonosta $\alpha = M(S_3mk)$ voidaan lukea taimen kasvatushistoria (M, S_3, mk), merkkijono $\beta = M$ kuvaa tuotetun taimen taimilajia ja $t = 2$ ilmoittaa kauden, jona taimi myydään.

Joka kevät käynnistetään useita tuotantoketjuja (em. lähtöruutu) ja jokaista ketjua pitkin etenee tuhansia taimia. Tällöin verkon eri ruuduissa on samanaikaisesti valmistusasteeltaan erilaisia taimieriä, jotka etenevät tuotantoketjun edellyttämällä tavalla ruudusta toiseen, kunnes ne saapuvat jompaan kumpaan lopetusruutuun. Toinen ruuduista vastaa myyntiä syksyllä ja toinen kauden vaihduttua keväällä tapahtuvaa myyntiä. Taimitarhan viljelytoimintaa kuvaa siten »taimien» jatkuva liike verkossa. Verkko sisältää yleisimmin viljellyt taimilajit, mutta tarpeen vaatiessa sitä on helppo laajentaa. Tässä yhteydessä on paikallaan mainita, että verkkosuunnittelua on käytetty aiemmin mm. taimitarhan töiden järjestelyyn taimitarhanhoitajan päätöksenteon tueksi (Palo 1971).



Kuva 1. Taimitarhan viljelyprosessia kuvaava verkko
Fig. 1. Schematic presentation of nursery plant production

3. MALLIN MUODOSTUS

31. Yleistä

Edellä on kuvattu, miten taimien tuotantoketjut voidaan koostaa kasvatusvaiheista ja miten samankin taimilajin tuottamiseksi voidaan käyttää erilaisia tuotantoketjuja. Tällöin nousee aivan itsestään esille kysymys siitä, mitä taimilajeja taimitarhalla tuotetaan ja mitkä tuotantoketjut valitaan taimien tuottamiseksi. Valinta voidaan eri taimitarhoilla perustaa erilaisiin kriteereihin. Tässä tutkimuksessa valinnan pääkriteerinä on mahdollisimman suuri taimitarhan tuotannosta saatava katetuotto (ks. luku 36). Tuotannolle voidaan asettaa myös osatavoitteita, jotka ovat luonteeltaan ehdottomia. Toisin sanoen niiden on toteuduttava samalla kun pyritään pääkriteerin suhteen parhaaseen mahdolliseen, optimaaliseen ratkaisuun. Osatavoitteena voi olla, kuten esimerkiksi tässä tutkimuksessa, että kassasta voidaan kausittain ottaa ennalta määrätty rahasumma sijoitettavaksi taimituotannosta erillään oleviin kohteisiin, esim. kulutukseen. Osatavoitteena voisi olla myös vähintäänkin tietynsuuruinen tuotantokapasiteetti jne. On selvää, ettei tuotantoketjuja voida valita vain tavoitteita silmällä pitäen, vaan huomioon on myös otettava tuotantoa rajoittavat tekijät. Tällaiset tekijät ovat osittain itse taimitarhasta aiheutuvia, osittain ulkopuolelta tulevia, joihin ei taimitarhalla tehtävillä toimenpiteillä juuri voida vaikuttaa. Nämä rajoitukset ovat luonteeltaan ehdottomia. Taimitarhan tehopinta-ala asettaa rajoitukset viljeltävien taimien lukumäärälle. Tehopinta-alaa voidaan kuitenkin lisätä mahdollisesti taimitarhan muista maista tai ostamalla tai vuokraamalla lisämaata. Taimien kysyntään on taas taimitarhalla tehtävillä päätöksillä olematon vaikutus, mikäli taimitarha tuottaa potentiaalisella markkina-alueellaan kaupaksi käyviä taimilajeja.

Eri tuotantoketjuista yhdistelemällä saatavien vaihtoehtoisten tuotanto-ohjelmien vertailu tapahtuu tässä lineaarista ohjelmointia käyttäen. Tavoitefunktio muodostetaan pääkriteeristä ja osatavoitteet sekä toimintaa rajoittavat tekijät kuvataan rajoitus(epä)yhtälöillä. Lineaarista ohjelmointia käyttäen saadaan optimaalinen tuotantoketjujen yhdistelmä, joka toteuttaa asetetut tavoitteet ja rajoitukset. Jotta malli olisi käytännössä tietokonetta apuna käyttäen ratkaistavissa, joudutaan malliin mukaan otettavien tuotantoketjujen lukumäärää rajoittamaan. Malliin ei yleensä voida ottaa kaikkia taimitarhalla toteutettavissa olevia tuotantoketjuja. Tällöin on mahdollista, että tässä tuotantoketjujen esikarsintavaiheessa mallista putoaa pois sellainen tuotantoketju, joka malliin mukaan otettuna kuuluisi optimaaliseen tuotantoketjujen yhdis-

telmään. On siis syytä korostaa, että ratkaisu on optimaalinen vain malliin mukaan otettujen tuotantoketjujen suhteen.

Tuotantosuunnitelman muodostamiseksi voidaan käyttää myös traditionaalista budjettimenetelmää, jossa yhdistelemällä tuotantoketjuja muodostetaan aluksi muutama mahdollinen vaihtoehtoinen tuotantosuunnitelma ja näistä sitten valitaan »paras». Näin meneteltäessä on hyvin todennäköistä, että lisättäessä vertailuun vaihtoehtoisia tuotantosuunnitelmia voidaan löytää yhä parempia tuotanto-ohjelmia. Vaihtoehtoisten tuotantosuunnitelmien joukko kasvaa käytännössä niin suureksi, ettei yleensä ole mitään mahdollisuutta luetella kaikkia vaihtoehtoja yksi kerrallaan ja sitten suorittaa valintaa näiden välillä traditionaalisen teorian edellyttämällä tavalla (J ä ä s k e l ä i n e n 1964). Menetelmän hyviksi puoliksi voidaan kuitenkin laskea sen yksinkertaisuus sekä sen antama mahdollisuus jo itse vertailuprosessissa arvostaa myös sellaisia seikkoja, joita ei välittömästi voida mitata.

Lineaarinen ohjelmointi tarjoaa käytännöllisen tavan lähestyä monituoteyrityksen ongelmia. (Klassinen analyysi perustuu olettamukseen, että yritys valmistaa ainoastaan yhtä tuotetta). Kuten aiemmin on käynyt ilmi, ei taimitarhalla tuotettuja taimia voida pitää »yhtenä tuotteena», vaan erilaisia tuotantoketjuja noudattaen voidaan tuottaa käyttöä ajatellen varsin eriarvoisia taimia.

Lineaarisen ohjelmoinnin mallin ratkaisu antaa optimaalisen tuotantosuunnitelman lisäksi arvokasta ja syvällistä tietoa (duaalisuusteoria) mallin (tuotantosuunnitelman) käyttäytymisestä optimaalisen ratkaisun »läheisyydessä». Mallin parametrisoinnin avulla voidaan selvittää sen herkät ja stabiilit alueet, ts. tutkia missä olosuhteissa optimaalinen tuotantosuunnitelma pysyy voimassa. Lineaariseen ohjelmoinnin malliin voidaan sisällyttää myös kokonaislukumuuttujia, jotka helpottavat jaottomien suureiden käsittelyä. Näiden seikkojen nojalla on katsottu aiheelliseksi perustaa taimitarhan tuotantovaihtoehtojen valintaa avustava malli lineaarisen ohjelmoinnin pohjalle. Seuraavaksi esitetään mallin yksityiskohtainen matemaattinen formulointi. Malli kokonaisuudessaan siihen liittyvine merkintöineen on esitetty myös liitteessä 2.

32. Tuotannon kuvaaminen

Määritelmän mukaan kutakin tuotantoketjua eli biologis-teknistä tuotantomenetelmää käyttäen voidaan tuottaa vain yhtä taimilajia. Yksi ja sama taimilaji voidaan kuitenkin tuottaa useampaa vaihtoehtoista tuotantoketjua käyttäen. Tuotantoketjut numeroidaan juoksevasti alkaen ykkösestä ja oletetaan, että mahdollisia tuotantoketjuja on kaikkiaan N kpl. On huomattava, että eri puulajien samanlaiset tuotantoketjut katsotaan eri ketjuiksi. Tästä johtuen taimia voidaan tuottaa korkeintaan N:ää erilaista lajia. Tuotantoketjujen ajallinen pituus eli taimien tuotantoaika voi vaihdella yhdestä neljään vuoteen; tarkemmin sanoen yhdestä tuotantokaudesta neljään tuotantokauteen. Tuotantoketjut rakentuvat peräkkäisistä kasvatus- eli tuotantovaiheista. Tuotantoprosessi voidaan päättää tiettyyn kasvatusvaiheeseen tai jatkaa sitä seuraaviin.

Kukin peräkkäisistä kasvatusvaiheista koostuva tuotantoprosessi muodostaa joka tapauksessa oman erillisen tuotantoketjunsa. Tuotantoketjussa on otettu huomioon myös taimien vaihtoehtoinen myynti- (toimitus-) ajankohta, syksy tai kevät. Näin ollen taimi voidaan aina ensimmäisen, toisen ja kolmannen kasvukauden jälkeen luokitella joko valmiiksi tuotteeksi tai puolivalmisteeksi. Niiden taimilajien tuotannon määrät, joiden kasvatusaika on vähintään kaksi kasvatuskautta riippuu kunakin kasvukautena luonnollisesti eri ikäisten puolivalmisteiden määrästä. Esimerkiksi M+a-taimia ei voida tuottaa, jos edellisenä kasvatuskautena ei ole tuotettu lainkaan M-taimia tai ne on kaikki myyty.

Jos joku tuotantoketju on täsmälleen sama kuin jonkin toisen tuotantoketjun alkuosa, nimitetään tuota lyhyempää ketjua seuraavassa jälkimmäisen edeltäjäksi. Tätä nimitystä käytetään kuitenkin vain silloin, kun toinen ketju on vain yhden tuotantovaiheen tuota edeltäjäänsä pidempi. Tässä yhteydessä ei oteta huomioon myyntitunnuksia (ms, mk) eikä koulintatapaa osoittavia alaviitteitä (k, r), vaan ne tulkitaan puuttuviksi. Ketjun i edeltäjää, joka on siis yksikäsitteinen, merkitään symbolilla E(i), (E(i) tulkitaan jatkossa joukoksi, jossa on yksi alkio tai joka on tyhjä) ja vastaavan ketjun seuraajien joukkoa, jossa voi olla useita alkioita (ketjuja) merkitään symbolilla S(i), $S(i) = \{ j \mid E(j) = i \}$ eli niiden ketjujen j joukko, joille on voimassa $E(j) = i$. Neljä tuotantokautta pitkän tuotantoketjun seuraajien joukko S on tyhjä (merk. $S = \emptyset$). Yhden tuotantokauden pituisella tuotantoketjulla ei tietenkään ole vastaavasti edeltäjää, $E = \emptyset$. Asian valaisemiseksi otetaan esimerkki. Tarkastellaan taimilajia M+a. Nyt voidaan eritellä erilaisia tuotantoketjuja esim. seuraavasti:

tuotantoketju	ketjun numero
$M(S_2mk)$	i
$M(S_3mk)$	i + 1
$M(S_3) +_k a(ms)$	i + 2
$M(S_3) +_r a(ms)$	i + 3

Tällöin on voimassa $E(i + 2) = \{i + 1\}$, $E(i + 3) = \{i + 1\}$ ja $S(i + 1) = \{i + 2, i + 3\}$, siis toisin sanoen ketju i + 1 on sekä ketjun i + 2 että ketjun i + 3 edeltäjä ja ketjut i + 2 ja i + 3 ovat ketjun i + 1 seuraajia.

Suunnitteluajanjakso käsittää T kasvukautta (vuotta). Merkitään tuotantoketjun i tuotantoon asetettavaa taimimäärää kauden j alussa symbolilla X_{ij}. Tuotantokauden j lopussa taimimäärä on tuhojen yms. tekijöiden vuoksi yleensä vähentynyt. Tämän vähenemisen ilmoittaa ketjulle tunnusomainen kausikohtainen vakio α_{ij} siten, että todella saatavan taimimäärän ilmoittaa tulo $\alpha_{ij} \cdot X_{ij}$. Jos taimierä myydään vasta seuraavana keväänä, otetaan viimeisessä α:ssä huomioon myös varastoinnista aiheutuvat raakit. Jos edellisen esimerkin merkintöjä vastaavasti asetetaan kauden t alussa tuotantoketjuun i+2 ketjulla i+1 tuotettuja taimia 1 000 kpl, saattaa siis olla, että kauden t+1 syksyllä voidaankin myydä vain 650 kpl ketjulla i+2 tuotettuja M+a-taimia.

Tällöin $\alpha_{i+2,\,t+1} = 0{,}65$. Vakiolle α_{ij} on voimassa $0 \leq \alpha_{ij} \leq 1$, $1 \leq i \leq N$, $1 \leq j \leq T$. $\alpha_{ij} = 0$ merkitsee sitä, että kaikki taimet ovat tuhoutuneet tuotantokauden j kuluessa, kun taas $\alpha_{ij} = 1$ ilmaisee kaikkien taimien säilyneen. Merkitään taimien myyntimääriä symbolein Y_{ij} ts. Y_{ij} on tuontantoketjua i noudattaen tuotettujen taimien myyntimäärä kaudella j. Myydyt määrät Y_{ij} ovat tietenkin riippuvaisia taimiin X_{ij} kohdistuvasta kysynnästä. Koska on epätarkoituksenmukaista ja vaikeata ennustaa jotain tiettyä ketjua i noudattaen tuotettujen taimien kysyntää, on seuraavassa menetelty niin, että taimet on jaettu erillisiin kysyntäryhmiin. Tämä jako perustuu pääasiassa eri ketjuja noudattaen viljeltyjen taimien erisuuruisiin pituuden odotusarvioihin ja tietysti puulajiin. Sellaiset taimilajit, joiden voidaan Metsäntutkimuksen kannalta lähes täysin katsoa vastaavan toisiaan, on sijoitettu samaan kysyntäryhmään. Tällä menettelyllä voidaan myös pienentää koko ennusteen virhettä, sillä yksittäisten virheiden voidaan olettaa ainakin osittain kumoavan toisiaan. Symbolilla K_{qi} merkitään kysyntäryhmään q kuuluvien eri tuotantoketjuja noudattaen tuotettujen taimien yhteiskysynnän maksimia kaudella j ja symbolilla k_{qj} vastaavaa yhteiskysynnän minimiä. Kysyntäryhmät on numeroitu juoksevasti 1, 2, . . . , Q, jolloin selvästikin on $Q \leq N$ ja $Q = N$ jos ja vain jos jokaiseen kysyntäryhmään kuuluu täsmälleen yhtä ketjua noudattaen tuotettuja taimia. Edelleen merkitään symbolilla G(q) kysyntäryhmään q kuuluvien taimien tuotantoketjujen joukkoa. Nämä joukot on muodostettu siten, että $G(q) \neq \emptyset$, $1 \leq q \leq Q$. On luonnollista, että kysyntäryhmät pysyvät muuttumattomina suunnittelumallin suunnitteluperiodiin sisältyvästä kaudesta toiseen. Tarkasteltaessa edellä esitettyä esimerkkiä, voidaan hyvällä syyllä otaksua, että esim. ketjuja $M(S_2mk)$ ja $M(S_3mk)$ käyttäen tuotetut taimet kuuluvat samaan kysyntäryhmään. Jos tämän kysyntäryhmän numero on esim. m, voidaan kirjoittaa $G(m) = \{i, i+1\}$.

Kuten edellä todettiin, on seuraavan kauden tuotanto osittain sidottu edellisen kauden tuotantoon. Jotta tuotanto voisi häiriöttä jatkua suunnitteluajanjakson takarajan jälkeenkin, on luonnollista asettaa vaatimus (rajoitus), että tarpeellisia puolivalmisteita on myös kauden T+1 alussa. Tämä edellyttää sitä, että loppuvarastot asetetaan mallissa kysyntäryhmittäin nollaa suuremmiksi niiden taimilajien osalta, joilla on seuraaja ts. $S(i) \neq \emptyset$. Kun puolivalmisteiden loppuvarastojen alarajat määrätään kysyntäryhmittäin eikä tuotantoketjuttain, saavutetaan se etu, että malli »päättää» loppuvarastojen koostumuksen. Kyseisiä puolivalmisteiden kysyntäryhmittäin kiinnitettyjä loppuvarastojen alarajoja merkitään symbolein v_i. Vastaava pätee myös suunnitteluajanjakson ensimmäisen tuotantokauden alussa. Suunnittelun alussa on määriteltävä taimitarhalla olevien puolivalmisteiden alkuvarastot. Kasvatuskautta ilmaisevan indeksin j yhteydessä on eräissä seuraavista rajoituksista käytetty symbolia δ. Tämä tarkoittaa sitä, että taimi voidaan myydä joko syksyllä (jolloin $\delta = 1$) tai seuraavana keväänä (jolloin $\delta = 0$). Alkutilannetta (suunnitteluajanjaksoa edeltävän kauden loppu) vastaa $j = 0$. Seuraavassa eritellään edellä esitetyt rajoitukset matemaattisessa muodossa. Mallin rajoitus(epä)yhtälöt on numeroitu juoksevasti ykkösestä alkaen.

Myytävät määrät eivät voi ylittää tuotannosta suunnitteluajanjaksona saatavia määriä.

$$1)\ \alpha_{ij} \cdot X_{ij} \geq Y_{ij} \qquad \begin{matrix} i = 1, 2, \ldots, N \\ j = 1, 2, \ldots, T \end{matrix}$$

Taimitarhan on tyydytettävä osansa sen potentiaalisella markkina-alueella esiintyvästä kysynnästä. Toisin sanoen taimitarhalla on tuotettava myyntiin kysyntäryhmittäin vähintäänkin tietty taimimäärä, joka vastaa sen markkina-alueen ennakoitua vähimmäiskysyntää eli

$$2)\ \sum_{i \in G(q)} Y_{ij} \geq k_{qj} \qquad \begin{matrix} q = 1, 2, \ldots, Q \\ j = 2, 3, \ldots, T \end{matrix}$$

Toisaalta taimien kysyntäryhmittäiset myyntimäärät eivät voi ylittää ennakoitua enimmäiskysyntää eli

$$3)\ \sum_{i \in G(q)} Y_{ij} \leq K_{qj} \qquad \begin{matrix} q = 1, 2, \ldots, Q \\ j = 2, 3, \ldots, T \end{matrix}$$

Näin menetellen taimitarhan tuotanto voidaan ohjata tiettyihin, metsänistutuksen kannalta hyväksi havaittuihin taimilajeihin. Tuotantoa voidaan ohjailla myös taimien hinnoittelulla.

Edellä on oletettu, että rajoitukset 2) ja 3) ovat voimassa automaattisesti kaudella 1. Näin on menetelty siksi, että mallissa ei ole mahdollista vaikuttaa alkuvarastojen suuruuteen.

Taimia ei voi tuottaa enempää kuin puolivalmisteet sallivat.

$$4)\ \sum_{\substack{p \in S(i) \\ S(i) \neq \emptyset}} X_{pj} \leq \alpha_{1,j-\delta} \cdot X_{1,j-\delta} - Y_{1,j-\delta} \qquad \begin{matrix} i = 1, 2, \ldots, N \\ j = 1, 2, \ldots, T \end{matrix}$$
$$1 \in E(p) \quad E(p) \neq \emptyset \qquad 1 \in E(p) \quad E(p) \neq \emptyset$$

Loppuvaraston on täytettävä seuraava ehto toiminnan jatkuvuuden takaamiseksi.

$$5)\ \sum_{\substack{i \in G(q) \\ S(i) \neq \emptyset}} \alpha_{iT} \cdot X_{iT} - Y_{iT} \geq v_q \qquad q = 1, 2, \ldots, Q$$

33. Tuotannontekijäin rajoitukset

Malliin sisältyvät seuraavat tuotannontekijät: työvoima, kesämuovihuoneet, lämmitettävät muovihuoneet, oma sekä vuokrattava avomaa, kylmähuoneet ja omat sekä vuokratraktorit. Jos halutaan ottaa huomioon myös muita koneita kuin traktorit, on niiden käsittely mallissa samanlainen kuin traktorien.

Tuotannontekijäin tarve vaihtelee suuresti kasvatuskauden sisällä. Jo aiemmin viitattiin työvoiman tarpeen epätasaiseen jakautumiseen tuotantokauden sisällä. Sama koskee muitakin tuotannontekijöitä. Tämän vuoksi on vielä kasvatuskausikin jaettu osiin. Siten suunnitteluajanjakso jakautuu kasvatuskausiin ja nämä edelleen kasvatusvaiheisiin. Oletetaan, että kussakin kasvatuskaudessa on n kasvatusvaihetta.

Työvoima

Taimitarhojen työvoimantarve on nykyisellään keskittynyt pääasiassa kevääseen ja loppukesään. Keskikesäksi joudutaan suurin osa taimitarhan työntekijöistä lomauttamaan. Talvella taimitarhojen (keskustaimitarhat) palveluksessa on vain vakinainen työvoima. Siis taimitarhan hoitajan lisäksi ehkä työnjohtaja ja kirjanpitäjä tms. toimistohenkilökuntaa. Vakinaista henkilökuntaa ei tämän tutkimuksen mallissa oteta huomioon tarkasteltaessa taimitarhan työvoiman tarvetta, vaan mielenkiinto kohdistuu taimitarhalle kasvatuskaudeksi palkattavaan henkilökuntaan. Vakinaisesta henkilökunnasta koituvia kustannuksia ei kohdisteta taimille, vaan ne lasketaan taimitarhan kiinteisiin kustannuksiin. Muusta työvoimasta aiheutuvat kustannukset sitävastoin kohdistetaan taimille tuotantovaiheittain käyttäen jakoperusteena pinta-alaa. Tulevaisuudessa lienee yhä hankalampaa saada työvoimaa maatalouden korkeasuhdanteen ajaksi (ennen ja jälkeen koulujen kesälomien). Tällöin kehitys kulkee taimitarhallakin hyvää vauhtia kohti pysyvää henkilökuntaa. Merkitään symbolilla W_{ijk} tuotantoketjuun i liittyvää työmenekkiä kaudella j kasvatusvaiheessa k. Työmenekkien W_{ijk} voidaan kausittain ajatella vaihtelevan esim. työmenetelmien, torjunta-aineiden yms. kehityksen myötä. Tällöin kehitys kulkisi kohti pienempiä työmenekkejä ts. $W_{i1k} \geq W_{i2k} \geq \ldots \geq W_{iTk}$. Tosin rikkakasvien yms. vuosittainen vaihtelu häiritsee tällaista monotonista kehitystä. Työmenekki lasketaan sopivissa aikayksiköissä. Edelleen merkitään symbolilla f_{jk} kaudella j kasvatusvaiheessa k saatavissa olevaa työvoimakapasiteettia. Tämä ilmoitetaan samoissa yksiköissä kuin kasvatusvaiheiden työmenekit. Saatavissa oleva työvoimakapasiteetti rajoittaa tuotantomääriä seuraavasti:

$$6) \quad \sum_{i=1}^{N} W_{ijk} \cdot X_{ij} \leq f_{jk} \qquad \begin{matrix} j = 1, 2, \ldots, T \\ k = 1, 2, \ldots, n \end{matrix}$$

Taimitarhoilla työvoima on naisvoittoista. Raskaampiin töihin ja koneiden käyttäjiksi tarvitaan miestyövoimaa. Lisäksi jotkut työt vaativat aiempaa taimitarhakokemusta, mutta pääosin tullaan toimeen tilapäisellä työvoimalla. Kuten edellä on käynyt ilmi ei tässä tutkimuksessa ole katsottu aiheelliseksi mitenkään eritellä työvoimaa, vaan on katsottu, että jos työvoimantarve on kokonaisuudessaan tyydytetty, on se myös tyydytetty erilaisten töiden vaatimien erilaisen työvoiman suhteen (esim. mies- ja naistyövoima).

Kesämuovihuoneet

Voidaan olettaa, että tuotantosuunnitelmat eivät vuodesta toiseen pysy samoina. Tämä johtuu tietenkin kysynnän kohdistumisesta kausittain erilaisiin taimiin ja erilaisten taimien hintasuhteiden muutoksista. Eri tuotantoketjuja käyttäen viljellyt

taimet tarvitsevat eri lailla muovihuonekapasiteettia. Koska lisäksi kesämuovihuoneetkaan eivät ole ikuisia, on kesämuovihuonealan sallittu vaihdella kasvatuskaudesta toiseen. Taimitarhalle on mahdollista perustaa uusia kesämuovihuoneita. Uudet kesämuovihuoneet rakennetaan kasvatuskauden alussa, jolloin tästä aiheutuvat kustannukset ajoittuvat aina uuden kesämuovihuoneen perustamisvuoteen. Kesämuovihuoneet ostetaan valmiiksi pystytettyinä (ilman muovipäällystettä) ulkopuolisilta yrityksiltä, joten perustaminen ei käytä taimitarhan työvoimakapasiteettia. Oletetaan, että kesämuovihuoneiden hinta on sama perustettiinpa niitä yksi tai useampia. Hinta tietenkin vaihtelee vuosittain, mutta minkäänlaisia määräalennuksia ei oteta huomioon. Perustetut muovihuoneet ovat käytettävissä viljelyyn seuraavan kasvatuskauden alussa. Perustamiskustannukset lasketaan taimitarhan kiinteisiin kustannuksiin, kun taas muutaman vuoden (yleensä kaksi) väliajoin tarpeellisesta muovien uusinnasta aiheutuvat kustannukset kohdistetaan taimille pinta-alaa jakoperustana käyttäen. Kesämuovihuoneiden perustamiskustannukset vaikuttavat tuotantovaihtoehtojen valintaan välillisesti siten, että jos niistä saatava hyöty on pienempi kuin perustamisesta aiheutuvat kustannukset, ei uusia kesämuovihuoneita perusteta. Tästä on seurauksena se, että taimitarhalla jo olevien kesämuovihuoneiden käyttöiästä aiheutuvan siirtymäkauden jälkeen ei taimitarhalla enää voida viljellä muovihuonekapasiteettia vaativia taimilajeja. Kesämuovihuoneet edellytetään siis purettavaksi tietyn iän saavutettuaan. Tämän vuoksi on niiden iästä pidettävä kirjaa. Purkaminen tapahtuu syksyllä kasvatuskauden päätyttyä, joten sekään ei käytä tarkastelun kohteena olevaa työvoimakapasiteettia.

Merkitään symbolilla a yhden kesämuovihuoneen tehopinta-alaa. Kaikki taimitarhalla jo olevat sekä rakennettavat kesämuovihuoneet oletetaan pinta-alaltaan yhtä suuriksi. Kesämuovihuoneet perustetaan avomaalle. On selvää, että tällöin uusi kesämuovihuone valtaa avomaalla pinta-alaa enemmän kuin sen tehopinta-alan a verran. Tämä seikka otetaan huomioon myöhemmin avomaan pinta-alaa tarkasteltaessa. Samoin kuin työvoimaa, vaativat eri taimet erilailla myös muovihuonealaa kasvatuskauden eri kasvatusvaiheissa. Olkoon a_{ijk} tuotantoketjua i noudattaen tuotettavan taimen vaatima kesämuovihuoneala kaudella j kasvatusvaiheessa k. Symboli a_{ijk} on ilmaistu samoissa yksiköissä kuin a. Voitaisiin kuvitella, että tiettyä ketjua noudattaen tuotetun taimen vaatima muovihuoneala a_{ijk} olisi kausittain sama ts. $a_{i1k} = a_{i2k} = \ldots = a_{iTk}$. Tässä yhteydessä niiden sallitaan kuitenkin vaihdella. Vaihtelu johtuu kunkin kasvatuskauden kasvatusolosuhteista ts. sateista, lämpötiloista, tuholaisista yms. Otetaan edelleen käyttöön seuraavat merkinnät:

z_j^o = kaudella j perustettavien kesämuovihuoneiden lukumäärä

$\bar{z}_j^t$ = kaudella j purettavien, t kautta (= vuosi) vanhojen kesämuovihuoneiden lukumäärä ($t \geq 1$)

z_o^t = t kautta vanhojen kesämuovihuoneiden lukumäärä suunnitteluhorisontin alussa ($t \geq 1$)

Kesämuovihuonekapasiteetti rajoittaa tuotantoa. Asia voidaan matemaattisesti edellä esitettyjä merkintöjä käyttäen ilmaista seuraavasti:

$$7)\quad \sum_{i=1}^{N} a_{ijk} \cdot X_{ij} \leq a \cdot \sum_{t=1}^{I^1} zz_j^t, \qquad \begin{matrix} j = 1, 2, \ldots, T \\ k = 1, 2, \ldots, n \end{matrix}$$

Symbolilla zz_j^t on merkitty t kautta vanhojen kesämuovihuoneiden lukumäärä kaudella j. Kun se ilmaistaan eksplisiittisesti saa se muodon

$$zz_j^t = z_o^{t-j} + z_{j-t+1}^{o} - \sum_{p=i}^{1-j} \bar{z}_p^{t-j+p}$$

missä

$z_o^{t-j} = 0$, kun $t \leq j$

$z_{j-t+1}^{o} = 0$, kun $j \leq t-1$

$\bar{z}_p^{t-j+p} = 0$, kun $t \leq j-p$

Minkään ikäisten muovihuoneiden lukumäärä ei minään kautena voi laskea alle nollan.

$$8)\quad zz_j^t \geq 0 \qquad \begin{matrix} j = 1, 2, \ldots, T \\ t = 1, \ldots, I^1 \end{matrix}$$

Edellä on I^1:llä merkitty kesämuovihuoneen maksimaalista käyttöikää, joka luonnollisestikin on vakio koko suunnitteluhorisontin ajan.

Lämmitettävät muovihuoneet

Lämmitettävät muovihuoneet käyttäytyvät mallissa aivan kuten kesämuovihuoneet. Otetaan käyttöön seuraavat merkinnät:

u_j^o = kaudella j perustettavien lämmitettävien muovihuoneiden lukumäärä

$\bar{u}_j^t$ = kaudella j purettavien t vuotta vanhojen lämmitettävien muovihuoneiden lukumäärä ($t \geq 1$)

u_o^t = t vuotta vanhojen lämmitettävien muovihuoneiden lukumäärä suunnitteluhorisontin alussa ($t \geq 1$)

g = yhden lämmitettävän muovihuoneen tehopinta-ala (= vakio kaikissa lämmitettävissä muovihuoneissa)

g_{ijk} = tuotantoketjua i käyttäen tuotettavan taimen vaatima lämmitettävän muovihuoneen ala kaudella j kasvatusvaiheessa k (vert. a_{ijk}).

Näitä merkintöjä käyttäen saadaan vastaavat epäyhtälöt kuin sivulla 30. Siten

$$9)\quad \sum_{i=1}^{N} g_{ijk} \cdot X_{ij} \leq g \cdot \sum_{t=1}^{I^2} uu_j^t \qquad \begin{matrix} j = 1, 2, \ldots, T \\ k = 1, 2, \ldots, n \end{matrix}$$

Epäyhtälöissä (esim. 9) uu_j^t on t vuotta vanhojen lämmitettävien muovihuoneiden lukumäärä kauden j alussa. Kokonaisluvuille uu_j^t on voimassa

$$uu_j^t = u_o^{t-j}\, u_{j-t+1}^{o} - \sum_{p=1}^{j-1} \bar{u}_p^{t-j+p}$$

missä $u_o^{t-j} = 0$, kun $t \leq j$

$u_{j-t+1}^{o} = 0$, kun $j \leq t-1$

$\bar{u}_p^{t-j+p} = 0$, kun $t \leq j-p$

Minkään ikäisten lämmitettävien muovihuoneiden lukumäärä ei minään kautena voi olla negatiivinen.

$$10)\quad uu_j^t \geq 0 \qquad \begin{matrix} j = 1, 2, \ldots, T \\ t = 1, \ldots, I^2 \end{matrix}$$

I^2:lla on merkitty lämmitettävän muovihuoneen maksimaalista käyttöikää. Lämmitettävät muovihuoneet joudutaan rakentamaan kestävämmiksi kuin kesämuovihuoneet, joten niiden käyttöikä on pidempi kuin kesämuovihuoneiden. Lämmitettävän muovihuoneen katteena olevaa muovia ei kasvatuskausien aikana poisteta, kuten tehdään kesämuovihuoneiden muoveille. Sitä ei myöskään jouduta uusimaan läheskään niin usein kuin kesämuovihuoneiden kohdalla. Tästä johtuen ei lämmitettävien muovihuoneiden mahdollisista muovien uusimisesta aiheutuvia kustannuksia ole otettu mallissa huomioon.

Avomaa

Koska kyseessä on verraten lyhyen tähtäimen ohjelma, niin mallissa rajoitutaan tapaukseen, jossa lisämaan ostoa ei oleteta tapahtuvan. Sen sijaan lisämaata oletetaan voitavan vuokrata. Kesämuovihuoneiden ja lämmitettävien muovihuoneiden tehopinta-aloja merkittiin vastaavin symbolein a ja g. Kuten aiemmin todettiin, muovihuoneita varten tarvitaan kuitenkin enemmän avomaa-alaa kuin niiden tehopinta-alat osoittavat. Tämä johtuu etupäässä siitä, että muovihuoneisiin on rakennettava käytäviä, joiden osuus saattaa olla yksi viidesosa koko muovihuoneen pinta-alasta. Merkitään symbolilla $\bar{a}$ yhden kesämuovihuoneen tarvitsemaa avomaa-alaa sekä symbolilla $\bar{g}$ lämmitettävän muovihuoneen vastaavaa alaa. Olkoon edelleen b avomaan pinta-ala suunnitteluhorisontin alussa. Tämä pinta-ala vaihtelee siten, että

perustettavat muovihuoneet pienentävät ja purettavat muovihuoneet sekä vuokraaminen lisäävät sitä. Mainitut pinta-alan kokonaismuutokset ovat $\bar{a}$ (kesämuovihuone) tai $\bar{g}$ (lämmitettävä muovihuone) kertaa perustettavien tai vastaavasti purettavien muovihuoneiden lukumäärä. Lisäksi merkitään symbolilla b_{ijk} tuotantoketjua i käyttäen tuotettavien taimien avomaakasvatuksessa vaatimaa avomaan pinta-alaa kaudella j kasvatusvaiheessa k. Edellä mainittua avomaan kapasiteettia (avomaakasvatukseen käytettävissä olevaa pinta-alaa) ei saa ylittää, ts.

$$11)\quad \sum_{i=1}^{N} b_{ijk} \cdot X_{ij} \leq b - \sum_{p=1}^{j} \bar{a} \cdot z_p^o + \sum_{p=1}^{j-1} \sum_{t=1}^{I^1} \bar{a} \cdot \bar{z}_p^t - \sum_{p=1}^{j} \bar{g} \cdot u_p^o + \sum_{p=1}^{j-1} \sum_{t=1}^{I^2} \bar{g} \cdot \bar{u}_p^t + h_j$$

$$j = 1, 2, \ldots, T$$
$$k = 1, 2, \ldots, n$$

Sekä lämmitettävien muovihuoneiden, kesämuovihuoneiden että avomaan pinta-alat ovat kausittain sidottuina toisiinsa kokonaispinta-alan kautta. Olkoon taimitarhan omistuksessa oleva kokonaispinta-ala B yksikköä. Kesannointi muuttaa viljelyyn käytettävissä olevaa pinta-alaa vuosittain voimakkaasti toimien eräänlaisena taimitarhan »puskurina». Tämä voidaan ottaa huomioon määrättäessä lukua B. Lisäksi oletetaan taimitarhan vuokraavan lisämaata kausittain h_j yksikköä, jolle asetetaan kausittaisiksi ylärajoiksi H_j. Kaikki pinta-alat on mitattu samoissa yksiköissä. Ehto, joka sitoo mainitut pinta-alat toisiinsa saa muodon

$$12)\quad b + \sum_{t=1}^{I^1} \bar{a} \cdot zz_j^t + \sum_{t=1}^{I^2} g \cdot uu_j^t \leq B + h_j \qquad j = 1, 2, \ldots, T$$

Lisämaan vuokraamista rajoittaa ehto

$$13)\quad h_j \leq H_j, \qquad j = 1, 2, \ldots, T$$

Lisämaan vuokraamisesta aiheutuvia kustannuksia ei kohdisteta taimelle, vaan ne lasketaan kiinteisiin kustannuksiin.

Kylmähuoneet

Kylmähuoneita, päinvastoin siis kuin muovihuoneita, ei oleteta voitavan purkaa. Lisäkapasiteetti rakennetaan kauden (vuoden)alussa, joten se on saman vuoden syksyllä käytettävissä. Menot ajoittuvat lisäkapasiteetin rakentamisvuoteen. Muovihuoneita oletettiin rakennettavan vain kokonaisina, määräalaisina yksikköinä. Näin syntyvä lisäkapasiteetti ei ole siis pinta-alan suhteen jatkuva, vaan kasvaa yhden muovihuoneen alan kerrannaisina. Samoin oletettiin, että purettavaksi tulee aina kokonainen muovihuone. Myös kapasiteetin väheneminen on siis epäjatkuvaa, portaittaista. Nämä olettamukset ovat käytännön kannalta ilmeisen tarpeellisia. Vastaa-

vasti oletetaan, että myös kylmähuonekapasiteettia voidaan rakentaa vain tietyn suuruisina kokonaisuuksina. Oletetaan, että tällainen kokonaisuus on niin suuri, ettei tällöinkään ole syytä ottaa huomioon määräalennuksia hankintahinnassa. Kylmähuoneet eivät vaadi taimien kasvattamiseen käytettävissä olevaa avomaa-alaa, vaan ne rakennetaa esim. taimitarhan joutomaalle. Tässä yhteydessä otetaan käyttöön seuraavat symbolit:

c_j = kaudella j rakennettavien kylmähuonekokonaisuuksien (yksiköiden) lukumäärä

$\bar{c}$ = yhden kylmähuonekokonaisuuden tuoma lisäkapasiteetti

c_o = kylmähuonekapasiteetti suunnitteluhorisontin alussa

c_{ijk} = tuotantoketjulla i tuotettavan taimen kylmähuonekapasiteetin tarve kaudella j kasvatusvaiheessa k

Kylmähuonekapasiteettia koskeva rajoitus voidaan nyt kirjoittaa muotoon:

$$14) \quad \sum_{i=1}^{N} c_{ijk} \cdot X_{ij} \leq c_o + \sum_{p=1}^{j} \bar{c} \cdot c_p \qquad \begin{matrix} j = 1, 2, \ldots, T \\ k = 1, 2, \ldots, n \end{matrix}$$

Kylmähuoneita koskevat kapasiteetit ja kapasiteettitarpeet on mitattu samoissa yksiköissä. Lisäykset rakennutetaan kokonaan ulkopuolisilla yrityksillä.

Kylmähuoneiden rakentamisesta aiheutuvia kustannuksia ei kohdisteta taimille vaan nekin lasketaan mukaan kiinteisiin kustannuksiin. Välillisesti nämä kuitenkin vaikuttavat taimitarhan tuotantovaihtoehtojen valintaan samalla tavalla kuin muovihuoneetkin.

Traktorit

Myös traktorikapasiteetin tarve vaihtelee kasvatuskauden aikana kasvatusvaiheittain. Taimitarhalla saatetaan käyttää työmenetelmiä, jotka vaativat tietyssä vaiheessa useita traktoreita, vaikka ne kaikki eivät tuolloin olisikaan täydessä käytössä. Jos kaikki tarvittavat traktorit olisivat taimitarhan omistuksessa, olisi ehkä suuri osa traktoreista pääosan vuotta tuottamattomana. Taimitarhan ei näet oleteta vuokraavan ulkopuolisille traktoreitaan. Etenkin talviaika muodostuisi erityisen ongelmalliseksi. Onkin luonnollista, että vain osa sesonkiaikana tarvittavista traktoreista on taimitarhan omistuksessa, kun taas loput pyritään vuokraamaan ulkopuolelta esim. lähiseudun maanviljelijöiltä. Pelkästään vuokratraktorien varassa toimiminen johtaisi kuitenkin liialliseen riippuvuuteen ulkopuolisista. Aina ei ole edes mahdollista vuokrata koko taimitarhalla tarvittavaa traktorikapasiteettia. Koska traktorien käyttöikä on rajoitettu, oletetaan taimitarhalle voitavan ostaa uusia traktoreita. Aikansa palvelleet traktorit myydään käypään hintaan esim. vaihdon yhteydessä. Trak-

torin osto ajoittuu kauden alkuun. Ne ovat siis käytettävissä tuotantoon jo samana kautena. Myyntivuorossa olevat traktorit myydään kauden alussa. Täten ostomenot ja myynnistä aiheutuvat tulot ajoittuvat samaan vuoteen. Ostojen yhteydessä ei oleteta saatavan määräalennuksia eikä vastaavasti myynnin yhteydessä niitä annettavan.

Taimitarhalle traktoreita ei välttämättä vuokrata koko kaudeksi (vuodeksi) vaan myös yhden tai useamman kasvatusvaiheen ajaksi. Vuokralle saatavan traktorikapasiteetin määrä on tietenkin kausittain ja kasvatusvaiheittain rajoitettu. Otetaan käyttöön seuraavat merkinnät:

t_j^o = kaudella j ostettavien uusien traktorien lukumäärä

t_j^t = kaudella j myytävien t vuotta vanhojen traktorien lukumäärä ($t \geq 1$)

t_o^t = t vuotta vanhojen traktorien lukumäärä suunnitteluhorisontin alussa ($t \geq 1$)

$\bar{t}_{jk}$ = kaudella j kasvatusvaiheessa k vuokrattavien traktorien lukumäärä

e_{ijk} = tuotantoketjua i noudattaen tuotettavan taimen vaatima traktorikapasiteetti kaudella j kasvatusvaiheessa k

e_k = yhden traktorin kapasiteetti yhden kasvatusvaiheen aikana

Taimia ei tietenkään voi viljellä siten, että käytettävissä oleva traktorikapasiteetti jossain vaiheessa ylitettäisiin. Niinpä vaaditaan

$$15)\quad \sum_{i=1}^{N} e_{ijk} \cdot X_{ij} \leq e_k \cdot \sum_{t=1}^{I^3} tt_j^t + e_k \cdot t_{jk} \qquad \begin{matrix} j = 1, 2, \ldots, T \\ k = 1, 2, \ldots, n \end{matrix}$$

Kokonaisluvut tt_j^t ilmoittavat t vuotta vanhojen tuotantoon käytettävissä olevien taimitarhan omien traktorien lukumäärän kaudella j. Symbolilla tt_j^t on merkitty lauseketta

$$tt_j^t = t_o^{t\,j} + t_{j-t+1}^o - \sum_{p=1}^{j-1} \bar{t}_p^{t-j+p},$$

missä $t_o^{t-j} = 0$, kun $t \leq j$

$t_{j-t+1}^o = 0$, kun $j \leq t$

$\bar{t}_p^{t-j+p} = 0$, kun $t \leq j-p$

Minkään ikäisten traktorien lukumäärä ei minään kautena voi olla negatiivinen. Niinpä vaaditaankin

$$16)\quad tt_j^t \geq 0 \qquad \begin{matrix} j = 1, 2, \ldots, T \\ t = 1, \ldots, I^3 \end{matrix}$$

Edellä I^3 on traktorin maksimaalinen käyttöikä. Niin kuin todettiin, on vuokralle saatavan traktorikapasiteetin määrä rajoitettu. Merkitään symbolilla T_{jk} kaudella j kasvatusvaiheessa k vuokrattavissa olevien traktorien maksimimäärää. Tällöin pitää olla voimassa

$$17)\quad \bar{\bar{t}}_{jk} \leq T_{jk} \qquad \begin{matrix} j = 1, 2, \ldots, T \\ k = 1, 2, \ldots, n \end{matrix}$$

Edelleen, koska traktoreita oletettiin voitavan myydä, on toiminnan jatkuvuuden takaamiseksi sovellettava lähinnä samanlaista menettelyä kuin puolivalmisteiden loppuvarastojen suhteen edellä. Niinpä asetetaan rajoitus, että taimitarhan omien traktorien lukumäärä ei saa laskea suunnitteluajanjakson aikana. Jos suunnitteluajanjakson jälkeisiä toimintaedellytyksiä ei traktorien osalta näin turvattaisi, olisi ilmeistä, että taimitarhalle ostetut traktorit pyrittäisiin kaikki myymään suunnitteluajanjakson viimeisillä jaksoilla (vrt. muovihuoneet, joilla poistettaessa ei ole mitään arvoa). Taimitarhalle suunnitteluhorisontin jälkeen jäävien traktorien keskimääräistä ikää, suorituskykyä tms. ei eritellä, vaan rajoitus asetetaan koskemaan ainoastaan kokonaislukumäärää. Traktorit myydään vanhimmasta päästä niiden edullisimman pitoajan (vrt. H o n k o 1955) tultua täyteen. Kustannuksia laskettaessa ei ole mahdollista erikseen kohdistaa sen paremmin omien kuin vuokrattujenkaan traktorien käytöstä aiheutuvia kustannuksia eri taimilajeille ja eri kasvatusvaiheisiin. Omien traktorien ostoista aiheutuvia kustannuksia ei myöskään kohdisteta taimille (vrt. esim. kylmähuoneet). Mallin valitsema tuotantosuunnitelma ja puolivalmisteiden loppuvarastoja koskevat rajoitukset määräävät osaltaan suunnitteluhorisontin lopussa taimitarhalle jäävien muovihuoneiden lukumäärän. Muovihuoneiden perustamisesta aiheutuvia kustannuksia ei kohdisteta taimille.

Taimitarhoille suunnitteluajanjakson jälkeen jäävien traktorien lukumäärää koskeva rajoitus voidaan ilmaista seuraavasti:

$$18)\quad \sum_{t=1}^{I^3} t_o^t \leq \sum_{t=1}^{I^3} tt_T^t$$

Kesämuovihuoneiden, lämmitettävien muovihuoneiden ja traktorien käyttöikä on rajallinen. Muovihuoneet joutuvat purettaviksi viimeistään silloin, kun ne saavuttavat tietyn, pääasiassa kulumisesta johtuvan maksimi-iän. Koska on ilmeistä, että käytettyjä muovihuoneita ei yleensä voida myydä, oletetaan tämän tutkimuksen mallissa, että kaikki muovihuoneet pidetään käytössä em. maksimi-ikään asti. Taimitarhan omistamille traktoreille asetetaan vastaavasti maksimaalinen käyttöikä, jonka saavutettuaan traktori viimeistään myydään. Traktorien hinnan oletetaan laskevan käyttövuosien funktiona. Traktorin myynti saattaa tulla kysymykseen jo ennen maksimaalisen käyttöiän täyttymistä. Hinnan lasku oletetaan aluksi ilmeisesti taloudellisuutta vastaavasti suhteellisen voimakkaaksi. Hinnan lasku hidastuu muutaman

käyttövuoden jälkeen, minkä malli ottaa huomioon. Myyntivuosi siis tuskin ajoittuu kovin lähelle ostovuotta.

Koska mallin suunnitteluperiodi on suhteellisen lyhyt, voidaan syystä olettaa em. pitkävaikutteisten tuotantovälineiden maksimaalisten käyttöikien pysyvän vakiona koko suunnitteluhorisontin ajan. Kesämuovihuoneiden maksimaalista käyttöikää on merkitty symbolilla I^1, lämmitettävien muovihuoneiden I^2:lla ja traktorien I^3:lla. Edellä luetellut resurssien käyttöikää rajoittavat ehdot voidaan siis kirjoittaa muotoon

$$19)\quad zz_j^t = 0 \qquad j = 1, 2, \ldots, T$$
$$t > I^1$$

$$uu_j^t = 0$$
$$t > I^2$$

$$tt_j^t = 0$$
$$t > I^3$$

34. Lainan saantirajoitukset

Jos taimitarha ei pysty toimimaan pelkästään tulorahoituksen turvin esim. investoidessaan pitkävaikutteisiin tuotannontekijöihin, on sen saatava rahaa »ulkopuolelta» joko lahjana tai takaisinmaksuvelvollisuudella määräajaksi myönnettynä lainana. Niinpä tässä tutkimuksessa lainoitus on otettu tarkasteluun eräänä vaihtoehtoisena taimitarhan rahoitusmahdollisuutena, vaikkakin tässä yhteydessä voidaan todeta, että käytännössä valtio on vientimaksuvaroin, työllisyyskohtein ym. tavoin osaltaan rahoittanut taimituotantoa. (Vuoden 1976 alussa oli keskusmetsälautakunta Tapion taimitarhoilla runsaat 600 000 mk valtion myöntämiä lainoja, sekä n. 560 000 mk normaaleja rahalaitoslainoja. Tämä tekee keskimäärin 7 100 mk/ha).

Traditionaalisin menetelmin suoritettavissa investointilaskelmissa tehdään yleensä oletus, että yritys voi vakiokorolla saada ja antaa lainaa periaatteessa rajattomasti. Tässä yhteydessä tällainen oletus ei ole relevantti. Mallissa oletetaankin, että taimitarha toimii epätäydellisillä rahoitusmarkkinoilla ts. taimitarhan käyttöön saatavissa olevien lainojen määrät ovat rajoitusten alaisia. Taimitarha ei harjoita antolainausta missään muodossa.

Luotonantajan voidaan olettaa asettavan myöntämilleen lainoille ylärajan monista syistä (vrt. Jääskeläinen 1964). Taimitarhalle oletetaan voitavan ottaa lainoja, joiden takaisinmaksuajat vaihtelevat (vrt. Jääskeläinen 1964). Merkitään l_j^k:lla kaudella j nostettavan sellaisen lainan markkamäärää, jonka takaisinmaksuaika on k vuotta. Lainat nostetaan kauden (vuoden alussa ja lyhennykset suoritetaan kauden lopussa. Ensimmäinen lyhennys suoritetaan saman kauden lopussa, jonka alussa laina on nostettu. Lainat lyhennetään kausittain yhtä suurina erinä ts. lainaa l_j^k lyhennetään kausien $j, j+1, \ldots, j+k-1$ lopussa l_j^k/k markkaa kunakin.

Koska suunnitteluajanjakso on suhteellisen lyhyt, voidaan yksinkertaisuuden vuoksi olettaa, että lainojen korkoprosentti on riippumaton sekä lainan takaisinmaksuajasta että lainan nostamiskaudesta. Merkitään siis koko suunnittelukauden ajan vakiona pysyvää korkoprosenttia symbolilla d.

Niin kuin edellä mainittiin, lainansaantimahdollisuudet ovat todellisuudessa rajalliset. Maksimimäärät vaihtelevat paitsi sen mukaan, kuinka moneksi vuodeksi laina myönnetään, myös lainan myöntämiskausittain. Merkitään symbolilla L_j^k k:ksi vuodeksi myönnettävän lainan maksimimäärää kaudella j. Lainanantaja asettaa rajoitukset kausittain yritykselle annettavien eri pituisten lainojen määrän lisäksi myös yritysten kulloisellekin kokonaisvelkaantumiselle. Tällöin saattaa syntyä tilanne, jossa kausittaiset ylärajat L_j^k eivät rajoita lainansaantia. Sen sijaan lainanantaja ei ennen yrityksen kokonaislainamäärän pienentymistä halua antaa uutta lainaa, ainakaan kausittain maksimimäärään asti. Merkitään suurinta sallittua lainojen yhteismäärää kautena j symbolilla L_j.

Taimitarhalla on yleensä jo ennen suunnitteluhorisontin alkua nostettuja lainoja. Jotta näitä pystyttäisiin mallissa käsittelemään on ne mallissa tulkittava ensimmäisen kauden alussa otetuiksi lainoiksi. Tarkastellaan tilannetta, jossa taimitarhalle on t_1 vuotta ennen suunnitteluhorisontin alkua nostettu a markkaa lainaa, jonka takaisinmaksuaika on k_1 vuotta. Jos tällöin $k_1 > t_1$, joudutaan ko. lainaa lyhentämään suunnitteluhorisontin kuluessa kausina 1, 2, . . . ,min $\{k_1—t_1, T\}$. Kyseistä lainaa on suunnitteluhorisontin alussa $a\cdot(k_1—t_1)/k_1$ markkaa koska lyhennykset oletetaan suoritettavan yhtä suurina erinä. Mallissa tämä laina tulkitaan suunnitteluhorisontin alussa otetuksi $a\cdot(k_1—t_1)/k_1$ markan suuruiseksi lainaksi, jonka takaisinmaksuaika on $k_1—t_1$ vuotta. Tällöin oletetaan, että tilanne voidaan järjestää siten, että malli ei »päätä» ensimmäisen kauden alussa nostaa lainaa, jonka takaisinmaksuaika on $k_1—t_1$ vuotta.

Näillä olettamuksilla voidaan asettaa

$$l_1^{k_1-t_1} = a(k_1—t_1)/k_1$$

kaikille ennen suunnitteluhorisontin alkua nostetuille lainoille. Lisäksi on oletettava, että tällöin $L_1^{k_1-t_1}$ voidaan kaikissa em. tapauksissa valita siten, että

$$a(k_1—t_1)/k_1 \leq L_1^{k_1-t_1}$$

Lainan saantia koskevat rajoitukset voidaan kirjoittaa muotoon

20) $l_j^k \leq L_j^k$ $\quad j = 1, 2, \ldots, T$ kaikilla arvoilla k

21) $\sum_k \sum_{j=\max\{1,\, i-k+1\}}^{i} l_j^k - \sum_k \sum_{j=\max\{1,\, i-k+1\}}^{i-1} (i—j) \cdot l_j^k/k \leq L_i$ $\quad i = 1, 2, \ldots, T$

22) $l_1^{k_1-t_1} = l(k_1 — t_1)/k_1$ kaikille lainoille, joita on vielä kauden 1 alussa jäljellä

35. Likviditeettirajoitus

Jotta taimitarhalla pystyttäisiin ylläpitämään jatkuvaa toimintaa, pitää kassassa olla rahaa tms. likvidejä varoja vähintään menojen maksamiseen tarvittava määrä suunnitteluajanjakson jokaisena hetkenä. Jotta tällainen vaatimus voitaisiin mallissa tarkasti kuvata, pitäisi suunnitteluajanjakso jakaa niin pieniin aikaväleihin, että yhden aikavälin kuluessa tapahtuisi korkeintaan yksi kassavaroja vähentävä maksutapahtuma. Käytännössä tällaisen menettelyn soveltaminen on lähes mahdotonta. Niinpä tässä tarkastellaan myös kassamaksuja vain kausittain. Tällöin oletetaan, että taimitarhan maksuvalmius on riittävä kauden sisälläkin, jos se on kunnossa kauden lopussa.

Kassaan tulee rahaa taimien ja traktorien myynnistä sekä lainojen nostoista. Oletetaan, että kassaanmaksu seuraa välittömästi myyntiä. Merkitään p_{ij}:llä tuotantoketjua i käyttäen tuotetun taimen myyntihintaa kaudella j. Niinkuin aiemmin mainittiin, nämä hinnat vahvistaa kausittain metsähallitus metsätalouden siemen- ja taimilautakunnan tekemien ehdotusten pohjalta, eikä taimitarha voi poiketa niistä. Merkitään edelleen symbolilla t_j^t t vuotta vanhan traktorin keskimääräistä myyntihintaa kaudella j. Kassasta joudutaan maksamaan ensinnäkin taimien muuttuvat tuotantokustannukset ts. palkkamenot, raaka-aineet yms. Näiden maksujen voidaan ajatella ajoittuvan ko. resurssien käyttöajankohtaan. Merkitään r_{ij}:llä tuotantoketjua i noudattaen tuotetun taimen muuttuvia viljelykustannuksia kaudella j. Kiinteät ylläpitokustannukset aiheuttavat myös kausittain kassasta maksuja. Merkitään näitä kausittain symboleilla s_j. Näihin lasketaan mukaan myös kaikki sellaiset kustannukset, joita ei erikseen kohdisteta taimille (esim. rakennuksien poistot). Kassasta vievät rahaa lisäksi uusien muovihuoneiden rakentaminen, kylmähuonekapasiteetin rakentaminen, traktorien ostot sekä traktorikapasiteetin että maan vuokraaminen. Otetaan käyttöön seuraavat merkinnät:

$\hat{t}_j$ = uuden traktorin keskimääräinen hinta kaudella j (esim. jonkinlainen painotettu keskiarvo)

$\hat{c}_j$ = menot yhdestä uudesta kylmähuonekokonaisuudesta kaudella j

$\hat{u}_j$ = menot yhdestä uudesta kaudella j pystytetystä lämmitettävästä muovihuoneesta

$\hat{z}_j$ = menot yhdestä uudesta kaudella j pystytetystä kesämuovihuoneesta (ilman muoveja, vrt. kasvatusvaiheet)

t_{jk} = menot yhden traktorin vuokraamisesta kaudella j kasvatusvaiheessa k

$\hat{h}_j$ = vuokramaan yksikkökustannus kaudella j

Lainat nostetaan kauden alussa ja lyhennykset suoritetaan kauden lopussa. Koska erikseen kunkin lainan lyhennysten oletetaan olevan kausittain yhtä suuret, pienenee korko sekä jäljellä oleva lainamäärä aritmeettisena sarjana. Lainannosto tuo nostokautena kassaan rahaa nettomääräisesti $l_i^k - l_i^k/k - d \cdot l_i^k$ markkaa eli määrän, joka saadaan vähentämällä nostetun lainan määrästä ensimmäisen kauden lyhennys ja

korko. Myös laina-ajan seuraavina vuosina maksuja aiheutuu lyhennyksestä ja korosta, jonka suuruus riippuu jäljellä olevasta lainamäärästä.

Mallissa edellytetään lisäksi, että kunkin kauden lopussa kassasta nostetaan tietty rahasumma muihin tarkoituksiin kuin taimitarhan rahoitukseen (vrt. H ä m ä l ä i n e n 1973). Merkitään näitä taimitarhan tuotosta muualle kausittain siirrettäviä rahamääriä symbolein V_j ($V_j \geq 0$).

Edelleen olkoon kassassa suunnitteluhorisontin alussa V_0 markkaa ($V_0 \geq 0$). Vaaditaan, että jokaisen kauden j lopussa kassaan pitää jäädä vähintään V_0 markan suuruinen varmuusrahasto sen jälkeen kun sieltä on ensin nostettu taimitarhatoiminnan ulkopuolisiin tarkoituksiin em. V_j markkaa. Kassassa kauden lopussa oleville varoille lasketaan normaalin säästötilin koron suuruinen korko. Tätä korkoprosenttia on seuraavassa merkitty β:llä. Kun tässä luvussa esitetyt kassatilanteeseen kohdistuvat olettamukset ja vaatimukset kootaan yhteen, saadaan ne matemaattisesti ilmaistua seuraavasti:

$$23)\ \sum_{j=1}^{m} (1+\beta)^{m+1-j} \left\{ \sum_{i=1}^{N} p_{ij} \cdot Y_{ij} + \sum_{k} l_j^k + \sum_{t=1}^{I^3} \hat{t}_j^t \cdot \bar{t}_j^t - \sum_{k} \sum_{i=\max\{1,\, j-k+1\}}^{j} l_i^k/k - \right.$$

$$\sum_{k} \left\{ d\Big[\sum_{i=\max\{1,\, j-k+1\}}^{j} l_i^k - \sum_{i=\max\{1,\, j-k+1\}}^{j-1} (j-i) \cdot l_i^k/k \Big] \right\} - s_j - \sum_{i=1}^{n} \bar{t}_{ij} \cdot \bar{\bar{t}}_{ij} - \sum_{i=1}^{N} r_{ij} \cdot X_{ij} -$$

$$\left. z_j^o \cdot \hat{z}_j - u_j^o \cdot \hat{u}_j - c_j \cdot c_j - t_j^o \cdot \hat{t}_j - h_j \cdot \hat{h}_j - V_j \right\} + (1+\beta)^m \cdot V_0 \geq 0, m = 1, 2, \ldots, T$$

36. Tavoitefunktio

Koska kyseessä on tulevaisuuteen kohdistuva suunnittelulaskelma, jossa tulot ja menot sattuvat T-vuotisen suunnitteluajanjakson eri ajankohtiin, ei pelkkä kokonaistulojen ja -menojen tarkastelu ole riittävä. Eri ajankohtiin sattuvat tulot ja menot on saatettava keskenään vertailukelpoisiksi koron avulla. Tällöin ne yleensä joko diskontataan laskentakorolla (α) suunnitteluhorisontin alkuun tai prolongoidaan suunnitteluhorisontin loppuun.

Tässä tutkimuksessa sovelletaan viimeksi mainittua menettelyä. Laskentakorko oletetaan sovellutustilanteessa tunnetuksi, sillä sen suuruuden määrittämisessä ei edes teoriassa ole päästy yksimielisyyteen kuin joissain yksinkertaisissa tapauksissa (J ä ä s k e l ä i n e n 1964). Tässä tutkimuksessa sovelletaan prolongointiin samaa korkoprosenttia kuin kassaan.

Erilaisissa tuotantosuunnitteluissa muodostuu taimitarhan loppuomaisuus muovihuoneiden, traktorien, kylmähuonekapasiteetin ja taimien loppuvarastojen suhteen erilaiseksi. Koska loppuomaisuus kuvastaa taimitarhan potentiaalisia toimintaedellytyksiä suunnitteluhorisontin jälkeen, on loppuomaisuus tavalla tai toisella otettava huomioon, jotta erilaisia tuotantosuunnitelmia voitaisiin verrata keskenään. Taimien

loppuvarastot arvostetaan niiden viimeisen kauden myyntihinnoilla (ks. liite 3 taulukko 8). Rauduskoivun taimilajien 1A ja 1M viimeisen kauden myyntihinnaksi on niiden viljelykustannusten ja muiden rauduskoivun taimilajien viljelykustannusten ja myyntihintojen perusteella arvioitu 150 mk/1000 tainta (eivät sisälly em. taulukkoon). Traktorien kohdalla on huomattava, että niiden oletetaan olevan käytössä viimeisen kauden loppuun, joten niiden arvostuksessa käytetään myyntihintaa t_T^{t+1} (huom. t on traktorin ikä kausina viimeisen kauden alussa). Muovihuoneiden käyttöikä kausissa on etukäteen määrätty. Tämän jälkeen ne oletetaan purettavan. Näin ollen voidaan perustellusti olettaa muovihuoneen arvon laskevan lineaarisesti täydestä arvosta nollaan sen käytössäolokausien funktiona. Myös muovihuoneiden oletetaan olevan käytössä viimeisen kauden loppuun. Tällöin muovihuoneen arvostuksessa käytetään hintaa $(I^1—t—1)/I^1 \cdot \hat{z}_T$ tai $(I^2—t—1)/I^2 \cdot \hat{u}_T$ riippuen siitä, onko kyseessä kesä- vai lämmitettävä muovihuone (huom. t on muovihuoneen ikä kausissa viimeisen kauden alussa). Kylmähuoneen käyttöikä on T' vuotta ja kylmähuoneiden arvon oletetaan laskevan myös lineaarisesti. Tavoitteeksi asetetaan suunnitteluajanjakson loppuun prolongoidun kumulatiivisen katetuoton ja käyttö- ja vaihto-omaisuuden loppuarvojen summan maksimointi ts.

$$\max \sum_{j=1}^{T} (1+\alpha)^{T+1-j} \left\{ \sum_{i=1}^{N} p_{ij} \cdot Y_{ij} + \sum_{t=1}^{I^3} \hat{t}_j^t \cdot \bar{t}_j^t - \sum_k d \left[\sum_{i=\max\{1,\, j-k+1\}}^{j} l_i^k - \sum_{i=\max\{1,\, j-k+1\}}^{j-1} (j—i) \cdot \right.\right.$$

$$\left.\left. l_i^k/k \right] - \sum_{i=1}^{N} r_{ij} \cdot X_{ij} - \sum_{i=1}^{n} t_{ij} \cdot \bar{\bar{t}}_{ij} - z_j^o \cdot \hat{z}_j - u_j^o \cdot \hat{u}_j - c_j \cdot \bar{c}_j - t_j^o \cdot \hat{t}_j - h_j \cdot \hat{h}_j \right\} +$$

$$\sum_{i=1}^{N} (\alpha_{iT} X_{iT} - Y_{iT}) \cdot p_{iT} + \sum_{t=1}^{I^1-1} zz_T^t \cdot (I^1—t—1)/I^1 \cdot \hat{z}_T + \sum_{t=1}^{I^2-1} uu_T^t \cdot (I^2—t—1)/I^2 \cdot \hat{u}_T +$$

$$\sum_{t=1}^{I^3-1} tt_T^t \cdot \hat{t}_T^{t+1} + \sum_{j=1}^{T} c_j^o (j—1)/T' \cdot c_j$$

Lopuksi todettakoon, että kaikkien tuotannontekijöitä kuvaavien muuttujien arvojen on oltava ei-negatiivisia.

4. MALLIN TARVITSEVAT TIEDOT

41. Taimitarhan nykyinen tila

Teknisten tietojen keruu

Teknisten tietojen keruulla tarkoitetaan tässä yhteydessä lähinnä taimitarhan pitkävaikutteisiin tuotannontekijöihin liittyvien, suunnitteluajanjakson alkutilannetta kuvaavien vakioiden selvittämistä. Malli tarvitsee lähtötiedoikseen taimitarhan omistuksessa olevien traktorien iät ja lukumäärät. Edelleen tarvitaan kesämuovihuoneiden sekä lämmitettävien muovihuoneiden iät, lukumäärät sekä kokonais- ja tehopinta-alat. Samaten tarvitaan avomaan ja kylmähuoneen kapasiteetit.

Mallissa on traktoreilla ja muovihuoneilla tietyt käyttöiät. Suunnitteluajanjakson alussa saattaa taimitarhalla kuitenkin olla käytössä vanhempia traktoreita tai muovihuoneita kuin mitä mallissa on edellytetty. Koska tällaisetkin tuotannontekijät on saatava malliin, on meneteltävä siten, että ne poistetaan käytöstä heti ensimmäisellä kaudella. Tähän päästään asettamalla näiden käyttöikä todellisesta poiketen maksimaaliseksi vasta ensimmäisellä kaudella.

Mallissa traktorin maksimaalista käyttöikää on merkitty symbolilla I^3 (vuotta). Jos suunnitteluajanjakson alussa taimitarhalla on esimerkiksi traktori, jonka ikä on t vuotta ja $t > I^3$, niin tällöin asetetaan $t_o^{I^3} = 1$ (eli suunnitteluajanjakson alussa taimitarhalla on yksi I^3 vuotta vanha traktori vaikka ko. traktori todellisuudessa onkin vanhempi). Näin on meneteltävä siksi, että mallissa ei voida käsitellä kuin korkeintaan I^3 vuotiaita traktoreita. Vastaavalla tavalla on meneteltävä myös muovihuoneiden kanssa.

Erilaiset tuotantoketjut muodostuvat tuotantovaiheiden erilaisista yhdistelmistä. Eri puulajien tuotantovaiheittaiset em. pitkävaikutteisten tuotantovälineiden kapasiteettitarpeet (1000 tainta kohti) koskien Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhaa on esitetty liitteen 3 taulukoissa 2, 4, 6 ja 7. Liitteessä 3 on esitetty myös em. tuotantovaiheiden työmenekit (1000 tainta kohti) puulajeittain taulukossa 7.

Vuokralle oletetaan saatavan korkeintaan kaksi traktoria kausittain ja kasvatusvaiheittain. Traktorit vuokrataan aina kasvatusvaiheeksi kerrallaan. Vuokratraktorista kausittain ja kasvatusvaiheittain aiheutuvat lisäkustannukset on esitetty liitteen 3 taulukossa 13. Lisäkustannus on laskettu vuokran ja oman traktorin käyttökustan-

nusten erotuksena vuodelle 1975 ja sen on oletettu kasvavan samassa suhteessa uusien traktorien hinnan kanssa (vrt. liite 3, taulukko 9).

Varaston inventointi

Taimitarhoilla suoritetaan yleisesti inventaario joka syksy. Tämän perusteella selvitetään tuotantoketjuihin liittyvät alkuvarastot X_{io}. Nämä on esitetty liitteen 3 taulukossa 14.

Rahoitustilanteen kartoitus

Mallia varten on selvitettävä taimitarhalla suunnitteluajanjakson alussa olevien lainojen määrät ja vastaavat takaisinmaksuajat. Nämä sijoitetaan malliin luvussa 34 esitetyllä tavalla. Nimenomaista esimerkkitapaustamme ajatellen voidaan todeta, että valtion tulo- ja menoarviossa on vuosittain varattu määräraha Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhan ylläpitämiseen. Varat myönnetään pääosin metsänhoitomomentilta. Jonain vuosina varoja on osoitettu myös työllisyysmomentilta. Näiden yhteenlaskettu määrä vuodelle 1976 oli 726 000 mk. Mallin kannalta tätä pidetään alkukassana V_0. Taimien myynnistä kertyvät maksut suoritetaan esimerkkitapauksessa metsäntutkimuslaitoksen tulotilille, jota alkukassaan yhdistettynä pidetään mallin varsinaisena kassana. Kassassa olevalle pääomalle lasketaan korkoa. Lisäksi oletetaan ettei sovellutustilanteessa kassasta nosteta varoja taimitarhatoiminnan ulkopuolisiin tarkoituksiin. Koska esimerkkitaimitarhalla ei vuoden 1976 alussa ollut lainkaan velkoja voidaan yhtälöryhmä 22) sovellutustilanteessa jättää mallista pois. Yleisesti oletetaan, että lainoista taimitarha maksaa lainanantajalle 10 % vuotuista korkoa. Kassassa oleville varoille lasketaan vuotuista korkoa 5 %, joka on samaa kuin prolongointiin käytetty laskentakorko.

42. Tulevaisuutta koskevat tiedot

Eräitä naiveja ennustusmenetelmiä

Alkujaan nimitystä »naivi» on käytetty halventavassa ja vähättelevässä mielessä. Käytännössä naivit menetelmät osoittautuvat kuitenkin monesti tarkemmiksi kuin monimutkaiset ekonometriset mallit. Naivissa ennustusmenetelmässä ennusteen laatimiseen käytetään vain aikasarjan omaa sisäistä informaatiota, joten se ei yleensä sisällä yhtä paljon informaatiota ennustettavasta aikasarjasta kuin monimutkaiset ekonometriset menetelmät. Aikasarja on lukujono, joka on järjestetty toisen kordinaattinsa mukaan nousevaan järjestykseen. Yleensä tämä koordinaatti kuvaa aikaa, mutta se ei ole välttämätöntä (T ö r n q v i s t 1974a). Naivi ennustusmenetelmä voi kuitenkin ottaa huomioon aikasarjan asymptoottisen käyttäytymisen. Nopeu-

tensa ja helppokäyttöisyytensä vuoksi naivi menetelmä on usein monimutkaista menetelmää käyttökelpoisempi ja tehokkaampi (T ö r n q v i s t 1974b). Edellä luetelluista seikoista johtuen on tässä tutkimuksessa päädytty naivien ennustusmenetelmien käyttöön pyrittäessä ennustamaan mallinmuuttujien lukuarvoja.

Tarkastellaan aikasarjaa ... $X_{t-2t'}$, $X_{t-t'}$, $X_{t'}$

missä t' on ennustusjakson pituus. Tällöin voidaan yksinkertaisimmassa tapauksessa olettaa, että sarjaa kuvaa vakioprosessi eli

a) $X_{t+t'} = X_t$

Edelleen voidaan olettaa, että aikasarjan absoluuttinen tai prosentuaalinen muutos säilyy samana. Näin saadaan ennusteet:

b) $X_{t+t'} = 2X_t - X_{t-t'}$ ja

c) $X_{t+t'} = X_t^2/X_{t-t'}$

Muutoksen muutos voidaan myös olettaa vakioksi eli

d) $X_{t+t'} = 3X_t - 3X_{t-t'} + X_{t-2t'}$.

Jos kohdan a) tapauksessa laskelmiin otetaankin mukaan useampi havainto menneisyydestä ja lasketaan näiden keskiarvo, tulee ennusteesta vakaampi, mutta se ei enää perustu yhtä tuoreille tiedoille. Tämän ns. liukuvan keskiarvon menetelmän haittana on se, että vanhemmilla tiedoilla on yhtä suuri merkitys kuin tuoreimmilla Soveltamalla eksponenttitasoitusta saadaan havaintoja painotettua eri tavoin siten, että tuoreimmilla tiedoilla on suurempi paino kuin vanhemmilla. Tällöin

$$X_{t+t'} = aX_t + a(1-a)X_{t-t'} + a(1-a)^2 X_{t-2t'} \ldots,$$

missä $0 < a \leq 1$. Voidaan osoittaa, että tällöin

$a + a(1-a) + a(1-a)^2 + \ldots + a(1-a)^n \approx 1$, kun n on suuri
eli lasketaan todellinen keskimääräisarvo (Ro l l o f 1967). Liukuvan keskiarvon menetelmässä

$$X_{t+t'} = \Big(\sum_{i=o}^{n-1} X_{t-i\,.\,t'} \Big)/n$$

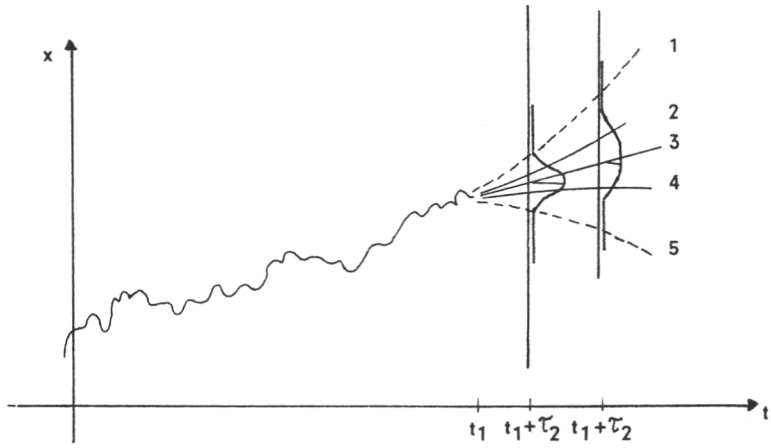
ja ajanjakson lukumäärän n ja kertoimen a välillä vallitsee yhteys

$$a = \frac{2}{n+1}.$$

Koska tätä tutkimusta tehtäessä ei käytettävissä ollut pitkälle menneisyyteen ulottuvia aikasarjoja ennustettavien muuttujien suhteen, vaan ne on jouduttu laskemaan, päädyttiin kohdissa a—d esitettyihin menetelmiin, jotka vaativat 1—3 edellistä aikasarjan arvoa.

Ennusteiden luotettavuudesta

Edellä kuvattiin eräitä naiveja ennustusmenetelmiä, joiden avulla voidaan ennustaa aikasarjan todennäköistä kehittymistä tulevaisuudessa eli sen odotusarvoja. Ennusteeseen liittyy käytännössä aina eri asteisia virhetekijöitä, joten ennusteeseen on myös syytä liittää todennäköisimmän arvon lisäksi ylä- ja alarajat (luottamusväli), joiden välissä ilmiön toteutuvien arvojen oletetaan pysyvän jollakin todennäköisyydellä. Ennustusongelman kuviteltu ratkaisu voidaan esittää seuraavanlaisen kuvion avulla (T ö r n q v i s t 1974b), jossa ennustettavan aikasarjan X_t todellinen kehitys tunnetaan t_1 ajankohtaan asti.



Kuva 2. Ennustusongelman kuviteltu ratkaisu
Fig. 2. A possible solution for a prediction problem

1 = 97.5 %:n fraktiili	*1 = 97.5 % fractile*
2 = 75.0 %:n »	*2 = 75.0 % »*
3 = 50.0 %:n » (odotusarvo)	*3 = 50.0 % » (expectation value)*
4 = 25.0 %:n »	*4 = 25.0 % »*
5 = 2.5 %:n »	*5 = 2.5 % »*

Ennusteen luottamusrajat ovat ennustetun muuttujan ehdollisen kertymäfunktion fraktiileja. Käytännössä ennusteen luottamusrajat on yleensä arvioitava aikasarjan aiemman käyttäytymisen perusteella. Paremmassa asemassa ollaan silloin, kun ennustusmenetelmää on jo sovellettu jonkin aikaa, jolloin voidaan tutkia havaittuja ennustusvirheitä ja estimoida niiden jakauma ja varianssi.

Lineaariseen malliin voidaan soveltaa parametrista ohjelmointia, jossa muuttujan tai rajoituksen arvo voi vaihdella tietyllä välillä. Edellä mainitut luottamusvälit ovat tähän tarkoitukseen sopivia. Koska esitettyjä naiveja ennustusmenetelmiä ei ole aiemmin sovellettu esitettäviin aikasarjoihin sekä koska käytettävät aikasarjat ovat

lyhyitä, ei ennustusvirheen jakaumaa saada estimoiduksi. Tällöin muuttujien vaihteluvälit joudutaan subjektiivisesti arvioimaan. Arvioita tehtäessä voidaan em. naiveja ennustusmenetelmiä käyttää hyväksi. Olkoon a(t) a-kohdan ennustusmenetelmän antama ennuste X_t:lle, b(t) b-kohdan menetelmän ennuste X_t:lle jne. Valitaan ennusteen luottamusväliksi $[X_t^1, X_t^2]$, missä

$$X_t^1 = \min \{a(t), b(t), c(t), d(t)\}$$

$$X_t^2 = \max \{a(t), b(t), c(t), d(t)\}.$$

Toisin sanoen alarajaksi otetaan esitettyjen ennustusmenetelmien antamista luvuista pienin ja ylärajaksi suurin. Näin menetellen ei kuitenkaan pystytä määrittämään laskennallisesti todennäköisyyttä sille, että ennustettava prosessi todella pysyy näissä rajoissa.

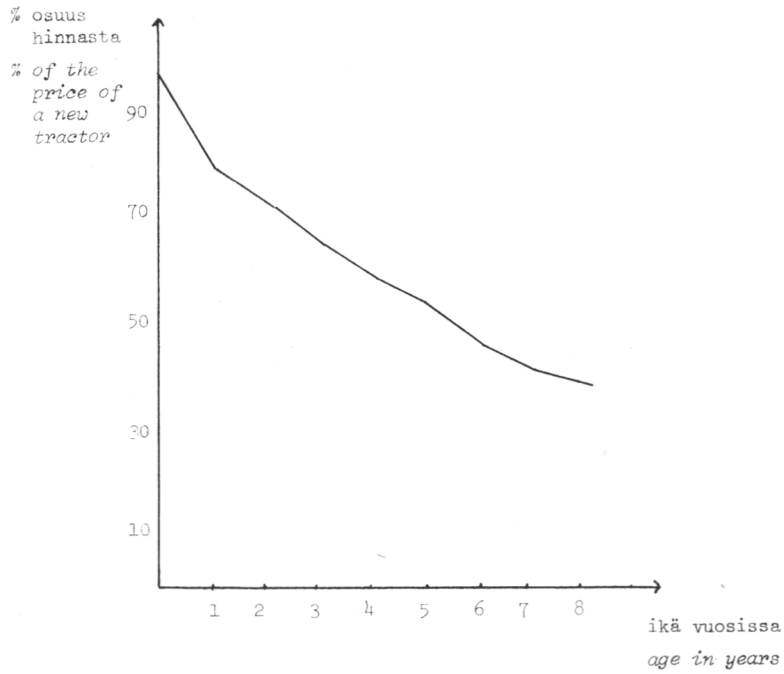
Kysynnän ja hintojen ennustaminen

Kysyntäluvut on saatu kuten sivulla 14 on selvitetty. Huomattakoon, että mallin kysyntäluvut K_{qj} edustavat metsänviljelyn kannalta tietyin perustein samanarvoisten taimilajien yhteiskysyntää. Esimerkiksi kuusen taimilajeja M+aa (1M+2A) ja Aa+aa (2A+2A) voidaan useimmissa tapauksissa pitää metsänviljelyn kannalta samanarvoisina. Tällöin ei pyritäkään ennustamaan kummankin taimilajin kysyntää erikseen, vaan niiden yhteiskysyntää. Näin saadaan osaltaan ennustusvirhe pienenemään.

Taimilajittaiset myyntihinnat p_{ij} (kts. liite 3 taulukko 8), tuotantokohtaiset muuttuvat kustannukset r_{ij} ja kausittaiset kiinteät ylläpitokustannukset s_j (kts. liite 3 taulukko 11) ennustetaan käyttäen sivulla 43 esitettyjä naiveja ennustusmenetelmiä. Lopulliseksi ennusteeksi otetaan eri menetelmien antamien ennusteiden aritmeettinen keskiarvo. Tätä varten joudutaan laskemaan vastaavat luvut kolmelle edelliselle kaudelle. Muuttuvat kustannukset lasketaan tuotantoketjuittain siten, että kustakin kasvatusvaiheesta selvitetään raaka-aineiden ja tarvikkeiden sekä työ- että konekapasiteetin menekit, jotka sitten hinnoitellaan em. vuosien nimellishinnoilla. Ennustettaessa muuttuvia kustannuksia r_{ij} on oletettu, että tuotantomenetelmät pysyvät samoina koko suunnitteluhorisontin ajan. Eri puulajien ja eri tuotantovaiheiden muuttuvat kustannukset on esitetty liitteen 3 taulukoissa 1, 3, ja 5.

Muovihuoneiden kehikkojen perustamiskustannuksia ja kylmähuoneyksiköiden hintoja tässä kysymykseen tulevilta vuosilta on useimmilta taimitarhoilta mahdotonta saada, koska niitä ei tuolloin vielä paljon rakennettu. Tällöin joudutaan turvautumaan arvioihin. Arviot on esitetty liitteen 3 taulukossa 10.

Uusien traktorien hinnat on ennustettu samoin kuin taimien myyntihinnat. Tätä varten on vastaavasti laskettava traktorien keskimääräinen myyntihinta kolmena edeltävänä vuotena. Tässä yhteydessä vuosittaiset hinnat laskettiin kuuden eniten



Kuva 3. Vaihtotraktorin keskimääräinen myyntihinta prosentteina vastaavan uuden hinnasta iän funktiona

Fig. 3. The average sales price of a traded-in tractor as percent of the price of a new one

myydyn maataloustraktorimerkin myyntiosuuksilla painotettuna keskihintana. Myyntitilastot ja myyntihinnat saatiin ko. vuosien Koneviestin vuosikerroista. Vastaavasti laskettiin t vuotta ($t \geq 1$) vanhan traktorin myyntihinta. Kuvassa 3 on esitetty t vuotta vanhan traktorin myyntihinta prosentteina vastaavasta uuden hinnasta. Nämä prosenttiosuudet ovat myös keskiarvoja ja ne on laskettu samojen traktorimerkkien perusteella kuin myyntihinnat uusille traktoreille. Vanhojen traktorien myyntihinnat on saatu eräästä traktorimyyjien vaihtotraktoreiden hinnastosta. Kolmen vuoden aikasarjoja käyttäen ennustetaan traktorien hintakehitys suunnitteluhorisontin aikana sivulla 43 esitetyillä naiveilla ennustusmenetelmillä. Myös tässä yhteydessä käytetään eri menetelmien antamien ennusteiden keskiarvoa.[1])

Lainoitus

Käytännössä yrityksen lainanotto kytketään yleensä sen pääomarakenteeseen. Lainoja voidaan verrata myös esim. yrityksen tuloihin ja menoihin. Niinpä eräiden suositusten mukaan lainojen lisäys saisi olla vain puolet tuotantotoiminnan tulojäämästä (S i p p o n e n 1974). Tässä tapauksessa tulojäämä lasketaan seuraavasti:

+ taimien myynti
— raaka-aineostot
— konekustannukset
— työpalkat
— korot
= tulojäämä ennen investointeja = X_j (merkintä).

Tällöin voidaan asettaa kausittain nostettavien eripituisten lainojen yhteismäärän ylärajaksi yleisesti merkiten $p \cdot X_j$, missä $0 < p \leq 1$. Kausittain nostettavien eripituisten lainojen markkamäärää merkittiin edellä symbolein l_j^k, jolloin

$$\sum_k l_j^k \leq p \cdot X_j$$

Mallissa olisi lainoitusrajoitus (20) voitu korvata tällä tavoin määritellyllä rajoituksella, joka on lievempi kuin epäyhtälön (20) esittämä rajoitus, ehdolla että

$$\sum_k L_j^k \leq p \cdot X_j$$

Tässä on kuitenkin haluttu erikseen rajoittaa eripituisten lainojen kausittain nostettavia määriä. Olkoon edelleen q_k k:ksi vuodeksi myönnettävän lainan osuuden yläraja kausittain nostettavien eri pituisiksi ajoiksi myönnettävien lainojen yhteismäärän maksimista ($q_k \geq 0$, $\sum q_k = 1$). Tällöin rajoitus (22) voidaan kirjoittaa muotoon

$$l_j^k \leq q_k \cdot p \cdot X_j, \qquad \begin{matrix} j = 1, 2, \ldots, T \\ \text{kaikilla arvoilla } k \end{matrix}$$

Koska suunnitteluajanjakson pituus on sovellutustilanteessa vain 5 kautta, ei mallissa lainanottoa ole kytketty tarkalleen edellä kuvatulla tavalla tulojäämään, vaan on sovellettu hieman yksinkertaisempaa menettelyä. Ensiksi laskettiin tulojäämä X_o suunnitteluajanjaksoa edeltävälle kaudelle ja valittiin $p = 0{,}5$. Tämän jälkeen annettiin lainojen kausittaisen yhteismäärän ylärajan kasvaa tietyllä kiinteällä prosentilla α edelliseen kauteen verrattuna. Näin saatiin em. ylärajoiksi kausille j

$$0{,}5 \cdot (1 + \alpha)^j \cdot X_o, \qquad j = 1, 2, \ldots, 5$$

Kun mallia sovellettaessa tarkastellaan tämän tutkimuksen yhteydessä vain kahta lainatyyppiä ($k = 1$ ja $k = 5$) ja kun asetettiin $\alpha = 0{,}07$ ja $q_1 = q_2 = 0{,}5$ saatiin kummankin lainan kausittaisiksi ylärajoiksi

$$L_j^k = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \left(1 + \frac{7}{100}\right)^j \cdot X_o, \qquad \begin{matrix} j = 1, 2, \ldots, 5 \\ k = 1, 2 \end{matrix}$$

Edelleen asetettiin epäyhtälöissä (23)

$\bar{L}_i = 2(L_i^1 + L_i^5)$, eli että

kokonaislainamäärä saa kausittain olla korkeintaan kaksi kertaa sille kaudelle enintään myönnettävien eripituisten lainojen yhteismäärä.[1])

Lainan takaisinmaksuajasta ja nostokaudesta riippumattomaksi oletetuksi korkoprosentiksi valittiin d = 0,10 vastaten suunnitteluajanjakson alun keskimääräistä pankkilainan korkoa.

Työvoima

Niin kuin edellä todettiin, työvoiman tarve toimitarhoilla vaihtelee voimakkaasti kasvatuskauden kuluessa (kts. taulukko 4). Tässä yhteydessä on huomautettava, että esimerkkitaimitarhalla ei ollut vaikeuksia työvoiman saannissa. Tilanne ei liene yhtä hyvä kaikilla taimitarhoilla ja se onkin jatkuvasti heikentynyt mm. työn tilapäisluonteesta, sen vähäisestä arvostuksesta ja raskaudesta johtuen (ks. Harstela 1975).

Mallissa ei työvoimaa ole eritelty. Taimitarhalle saatavissa olevan työvoiman määrää ennakoitaessa voidaan lähteä liikkeelle esim. seuraavista oletuksista. Ensinnäkin oletetaan, että työvoiman ammattitaidon kohottamiseksi halutaan työvoiman vaihtuvuuden olevan vähäistä ja työvoiman jakautuvan likipitäen tasaisesti koko tuotantokauden ajalle. Toiseksi, aluksi mainituista oletuksista johtuu, että mies- ja naistyövoiman tarve erikseen tulee tyydytetyksi, jos työvoiman kokonaistarve on tyydytetty. Kolmanneksi oletetaan työvoimatilanteen pysyvän muuttumattomana koko suunnitteluhorisontin ajan.

Sovellettaessa tässä kehitettyä mallia Suonenjoen tutkimusaseman taimitarhan olosuhteisiin voidaan rajoituksissa (7) esiintyvät kausittaiset ja kasvatusvaiheittaiset saatavissa olevat työkapasiteetit f_{jk} asettaa taulukon 4 perusteella. Tällöin oletetaan,

[1]) Lainojen ylärajat on esitetty liitteen 3 taulukossa 12.

Taulukko 4. Taimitarhatyöntekijöiden keskimääräinen ja maksimaalinen päivittäinen lukumäärä Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla huhti—elokuussa 1975

Table 4. The average and maximum number of people employed daily by the Forest Research Institute's nursery in Suonenjoki, April—August of 1975

Kuukausi *Month*	Naiset *Women*		Miehet *Men*		Yhteensä *Total*	
	Keskim. *Average*	Maksimi *Maximum*	Keskim. *Average*	Maksimi *Maximum*	Keskim. *Average*	Maksimi *Maximum*
Huhtikuu — *April*	10,7	11	4,9	5	15,6	16
Toukokuu — *May*	40,8	56	8,6	12	49,4	68
Kesäkuu — *June*	30,6	47	8,9	12	39,5	59
Heinäkuu — *July*	12,6	18	4,0	6	16,6	24
Elokuu — *August*	18,0	18	4,5	5	22,5	23
Huhti—Elokuu yhteensä — *April—August total*	22,5	30	6,2	8	28,7	38

että päivittäinen saatavissa oleva työvoiman yhteismäärä on koko kasvatuskaudelle sama kuin vuonna 1975 ollut kuukausittainen maksimimäärien keskiarvo. Luvut f_{jk} ilmoitetaan tunteina ja ne saadaan kertomalla em. keskiarvo kasvatusvaiheen työpäivien lukumäärällä ja tämä edelleen työpäivien tuntien keskimäärällä.

Kasvatusvaiheiden pituudet ja ajankohdat vaihtelevat taimitarhoittain sijainnista, tuotantomenetelmistä, tuotettavista puu- ja taimilajeista yms. riippuen. Sääolosuhteiden vaihteluista johtuen ne eivät ole vuodesta toiseen samat edes tietyllä taimitarhalla, vaikka tuotantomenetelmät pysyisivätkin samoina. Kasvatuskausi voidaan kuitenkin jakaa toisistaan selvästi erottuviin osiin esim. seuraavasti: kevätkesä, keskikesä, syyskesä ja talvi. Tällöin varsinaisen tuotantokauden muodostavat kolme ensin mainittua. Ajallisesti pisin on tietysti talvi, jolloin taimitarhalla suunnitellaan seuraavan tuotantokauden toimintaa.

5. SOVELLUTUSESIMERKKI

51. Koetaimitarhan esittely

Luvussa 3 kehitetyn mallin käyttökelpoisuutta taimitarhan tuotantosuunnitelman perustaksi on kokeiltu Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla. Taimitarhan tehtävänä on palvella Metsäntutkimuslaitoksen toimesta suoritettavaa metsänviljely- ja taimitarhatutkimusta sekä tuottaa taimia laitoksen toimesta perustettavia metsänviljelykokeita varten. Tämän päätehtävänsä ohella se tuottaa taimia laitoksen omissa kokeilualueissa suoritettavaa metsänviljelyä varten. Suurin osa taimitarhalla tuotetusta taimimateriaalista jää kuitenkin myyntiin. Tutkimukseen ja kokeilualueisiin luovutetun taimimäärän suhde myytyyn taimimäärään oli v. 1975 noin 1 : 9. Taimitarha sijaitsee Pohjois-Savon piirimetsälautakunnan eteläosassa.

Taimitarhan pinta-ala oli v. 1975 kaikkiaan 11,710 ha, josta pääosa kuului varsinaiselle tuotantotaimitarhalle. Osa pinta-alasta oli tutkimuskäytössä ja loput kesantona. Pinta-alan jakautuminen lämmitettävään muovihuone-, kesämuovihuone- ja avomaa-alaan käyttötarkoituksen mukaan eriteltynä on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarha. Pinta-alan jakautuminen lämmitettävän muovihuone-, kesämuovihuone- ja avomaa-alan kesken käyttötarkoituksen (tuotanto, tutkimus, kesanto) mukaan eriteltynä v. 1975

Table 5. Area utilised for heatable plastic greenhouses, summertime plastic greenhouses and open ground categorised according to purpose (production, research, fallow) at the Forest Research Institute's nursery at Suonenjoki, 1975

Käyttötarkoitus *Purpose*	Lämmitettävä muovihuone *Heatable plastic greenhouse*	Kesämuovihuone *Summertime plastic greenhouse*	Avomaa *Open ground*	Yhteensä *Total*
	Hehtaaria — *Hectares*			
Tuotanto — *Production*	0,096	0,831	9,845	10,772
Tutkimus — *Research*	0,096	0,070	0,517	0,683
Kesanto — *Fallow*	—	0,105	0,150	0,255

Lähde: Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhan toimintakertomus v. 1975
Source: Forest Recearch Institute's nursery at Suonenjoki. Yearbook 1975. (In Finnish)

Avomaan tehollinen, viljelyyn käytettävissä oleva pinta-ala oli 9 845 ha. Lisämaata ei oleteta vuokrattavan ts. $H_j = 0$, $j = 1, 2, \ldots, 5$. Lämmitettäviä muovihuoneita oli tuotantotaimitarhalla vain yksi, joten sen avomaalta valtaama ala on 960 m². Kun tästä vähennetään käytävät yms. saadaan käytettäväksi olevaksi lämmitettävän muovihuoneen viljelyalaksi 600 m². Kaikki taimitarhan kesämuovihuoneet olivat pinta-alaltaan yhtä suuria. Yhden kesämuovihuoneen avomaalta valtaama ala oli 360 m², joten tuotantotaimitarhalla oli kesämuovihuoneita kaikkiaan 26 kpl. Kesämuovihuoneen tehopinta-ala on 250 m², joten viljelyyn oli taimitarhalla käytettävissä kaikkiaan 6 500 m² kesämuovihuonealaa. Kesämuovihuoneet samoin kuin lämmitettävät muovihuoneet perustettiin v. 1968. Kylmähuonekapasiteetti oli vuoden 1975 alussa 400 m³. Sovellutustilanteessa on oletettu, että $I^1 = 10$, $I^2 = 15$, $I^3 = 8$ ja $T' = 50$.

Taimitarhan omistuksessa oli vuoden 1975 alussa kaksi maataloustraktoria, joista toinen vuosimallia -65 ja toinen -70. Tällöin on asetettu sivun 41 mukaisesti $t_o^5 = 1$ ja $t_o^8 = 1$.

52. Mallin lähtötiedot

Malliin mukaan otettavat taimilajit tulee valita siten, että niiden tuotantokustannukset pystytään ennakoimaan »kohtuullisella» tarkkuudella. Toisaalta taimilajitelmaan, josta lopulliset tuotettavat taimilajit valitaan, tulee sisältyä erityyppisille uudistusaloille sopivia taimilajeja. Mainittujen tavoitteiden kanssa osittain ristiriidassa ovat ratkaisumenetelmän asettamat tekniset rajoitukset; on vältettävä mallin liiallista paisumista, jotta se käytettävissä olevien lineaarisen ohjelmoinnin kirjasto-ohjelmin olisi kohtuullisin kustannuksin ratkaistavissa.

Tämän tutkimuksen empiirisessä sovellutuksessa on päädytty kompromissiin (sillä päätarkoituksena oli testata vain menetelmä eikä niinkään toimintasuunnitelman laatiminen Suonenjoen taimitarhalle), jossa edullisuusvertailu tapahtuu 15 erilaisen taimilajin kesken. Vertailuun mukaan otettavia taimilajeja karsittiin vanhimmasta päästä siten, että männyn ja rauduskoivun taimet olivat kaksivuotisia sekä kuusen taimet korkeintaan nelivuotisia. Näiden tuottamiseksi on valittu monien eri vaihtoehtojen joukosta 30 tuontantoketjua. Toisin sanoen mallissa $N = 30$. Ketjut on numeroitu juoksevasti ykkösestä alkaen. Tämä numero vastaa mallissa esiintyvää tuotantoketjun indeksiä, ks. X_1 viittaa männyn tuotantoketjuun $M(S_1ms)$ jne. (vrt. seuraavaa luetteloa malliin mukaan otetuista taimilajeista ja tuotantoketjuista puulajeittain). Taimilajin jäljessä olevat numerot viittaavat em. tuontantoketjuihin ilmaisten siis ne ketjut, joita noudattaen ko. taimilajia on tämän sovellutuksen puitteissa mahdollista tuottaa. Näiden jälkeen on luettelo valikoimaan kuuluvista tuotantoketjuista numeroineen.

Puulaji *Tree species*	Taimilaji *Seedling type*	Tuotantoketju *Production method*
Mänty — *Pine*	1 M	1, 2
»	1 M + 1 Ar	3, 4, 5, 6
»	1 M + 1 A	7, 8
»	1 LK	9
Kuusi — *Spruce*	1 A	10
»	1 M	15, 16
»	2 A	11
»	1 M + 1 A	17, 18, 19, 20
»	2 A × 1 Ar	12
»	2 A × 2 Ar	13, 14
Rauduskoivu — *Silver Birch*	1(Lk + A)	21, 22
»	1 M	23, 24
»	1 A	25
»	1 M + 1 A	26, 27, 28
»	1 A + 1 A	29, 30

Tuotantoketju *Production method*	Numero *Number*
M(ms)	1
$M(S_2mk)$	2
$M(S_1) +_r ar(S_1mk)$	3
$M(S_2) +_r ar(S_1mk)$	4
$M(S_1) +_r ar(ms)$	5
$M(S_2) +_r ar(ms)$	6
$M(S_1) +_k a(ms)$	7
$M(S_1) +_k a(S_2mk)$	8
Lk(ms)	9
$A(S_1)$	10
$A(S_1)a \times_r (S_1)$	11
$A(S_1)a \times_r (S_1)ar(ms)$	12
$A(S_1)a \times_r (S_1)ar(S_1)ar(ms)$ ..	13
$A(S_1)a \times_r (S_1)ar(S_1)ar(s_3mk)$.	14
M(ms)	15
$M(S_3mk)$	16
$M(S_1) +_k a(ms)$	17
$M(S_1) +_k a(S_1mk)$	18
$M(S_1) +_k a(S_3mk)$	19
$M(S_3) +_k a(ms)$	20
$(Lk +_k a)(ms)$	21
$(Lk +_k a)(S_3mk)$	22
$M(S_1)$	23
$M(S_3)$	24
$A(S_1)$	25
$M(S_3) +_k a(ms)$	26
$M(S_3) +_k a(S_3mk)$	27
$M(S_1) +_k a(ms)$	28
$A(S_1) +_k a(ms)$	29
$A(S_1) +_k a(S_3mk)$	30

Todettakoon, että ketjuja 1, 2, 10, 11, 15, 16, 23, 24 ja 25 noudattaen tuotettuja taimia eli männyn taimilajia 1M, kuusen taimilajeja 1A, 1M ja 2A sekä rauduskoivun taimilajeja 1M ja 1A ei tässä sovellutustilanteessa oleteta myytävän, vaan ne ovat puolivalmisteita muitten taimilajien tuotantoprosesseissa. (Tuotantoketjuja 10, 11, 23, 24 ja 25 pitkin tuotetuille taimille ei ole määritelty myyntihintaa; ketjuja 1, 2, 15 ja 16 pitkin tuotetuille taimille sitävastoin on tavoitefunktioon määritelty myyntihinta, mutta niillä ei oleteta olevan menekkiä.) Edellä esitetyistä tuotantoketjuista voidaan myös välittömästi todeta kunkin tuotantoketjun edeltäjä E(i) ja seuraajien joukko S(i). Seuraavassa on eksplisiittisesti esitetty sellaiset joukot S(i) ja E(i'), joille S(i) ja E(i') $\neq \emptyset$, i,i' = 1, 2 . . . ,30.

$S(1) = \{2, 5, 7\}$
$S(2) = \{6\}$
$S(5) = \{3\}$
$S(6) = \{4\}$
$S(7) = \{8\}$
$S(10) = \{11\}$
$S(11) = \{12\}$
$S(12) = \{13\}$
$S(13) = \{14\}$
$S(15) = \{16, 17\}$
$S(16) = \{20\}$
$S(17) = \{18, 19\}$
$S(21) = \{22\}$
$S(23) = \{28\}$
$S(24) = \{26\}$
$S(25) = \{29\}$
$S(26) = \{27\}$
$S(29) = \{30\}$

$E(2) = \{1\}$
$E(3) = \{5\}$
$E(4) = \{6\}$
$E(5) = \{1\}$
$E(6) = \{2\}$
$E(7) = \{1\}$
$E(8) = \{7\}$
$E(11) = \{10\}$
$E(12) = \{11\}$
$E(13) = \{12\}$
$E(14) = \{13\}$
$E(16) = \{15\}$
$E(17) = \{15\}$
$E(18) = \{17\}$
$E(19) = \{17\}$
$E(20) = \{16\}$
$E(22) = \{21\}$
$E(26) = \{24\}$
$E(27) = \{26\}$
$E(28) = \{23\}$
$E(29) = \{25\}$
$E(30) = \{29\}$

Taimilajit on jaettu kysyntäryhmiin siten, että jokaisen puulajin kohdalla koulimattomat taimet, koulitut taimet, rullataimet sekä kennotaimet muodostavat kukin oman kysyntäryhmänsä. Käytännön vaatimuksista johtuen on jakoa vielä rauduskoivun osalta tarkennettu. Tällöin muodostuu kymmenen kysyntäryhmää eli Q = 10. Mallin merkintöjä käyttäen ne voidaan ilmaista seuraavasti:

$G(1) = \{1, 2\}$
$G(2) = \{3, 4, 5, 6\}$
$G(3) = \{7, 8\}$
$G(4) = \{9\}$
$G(5) = \{10, 11, 15, 16\}$
$G(6) = \{12, 13, 14\}$
$G(7) = \{17, 18, 19, 20\}$
$G(8) = \{21, 22, 29, 30\}$
$G(9) = \{23, 24, 25\}$
$G(10) = \{26, 27, 28\}$

Tuotantotekniikkaan, rahoitukseen ja investointeihin empiirisessä esimerkissä liittyvien parametrien arvot sekä taimien myyntihinnat ja tuotantovaiheittaiset viljelykustannukset on esitetty liitteessä 3.

53. Mallin ratkaisu

Yleistä

Tässä tutkimuksessa malli käsittää noin 500 muuttujaa. Muuttujia sitoo toisiinsa runsaat 600 rajoitusepäyhtälöä. Muuttujista 172 on kokonaislukumuuttujia ja loput jatkuvia. Kokonaislukumuuttujien näinkin suuri lukumäärä aiheuttaa sen, että mallia ei kohtuullisin kustannuksin voida nykyisillä kirjasto-ohjelmilla ratkaista. Niinpä tässä tutkimuksessa on kokonaislukumuuttujia jouduttu käsittelemään jatkuvina. Jatkuvan ratkaisun löydyttyä pyöristetään kokonaislukumuuttujien arvot kokonaisluvuiksi. Tällainen menettely ei yleensä takaa ratkaisun optimaalisuutta, eikä edes sitä, että ratkaisu olisi käypä. Nyt käsillä olevassa sovellutustilanteessa voidaan kuitenkin todeta, että menettely ei voi johtaa kovin kauas optimiratkaisusta. Kun lisäksi pidetään mielessä se, että tulokset on tarkoitettu vain suuntaa antaviksi eikä ehdottoman sitoviksi, ei menettelyssä käytännön tapauksissa liene sanottavaa haittaa.

Malli on ratkaistu B6 700-tietokoneen lineaarisen ohjelmoinnin kirjasto-ohjelmalla TEMPO (ks. Burroughs... 1974). Optimiratkaisun generointi em. ohjelmistolla käytti tietokoneaikaa n. 11,7 minuuttia.

Taimien tuotanto- ja myyntisuunnitelma

Taulukossa 6 on esitetty mallista saatu tuotantosuunnitelma Suonenjoen taimitarhalle vuosiksi 1976—1980 puu- ja taimilajeittain. Taulukkoon 7 on koottu vastaava myyntisuunnitelma. Eri puu- ja taimilajeja tuotetaan vuosittain keskimäärin kymmentä kaikkiaan viidestätoista mahdollisesta. Taimien myynti puolestaan kohdistuu harvempiin taimilajeihin kuin tuotanto, sillä osaa tuotettavista taimista ei oleteta voitavan markkinoida, vaan ne siirtyvät tuotantoprosessissa eteenpäin puolivalmisteina. Niinpä vuosittain myydään keskimäärin seitsemää erilaista taimilajia yhdestätoista eri vaihtoehdosta. Vertailtaessa puulajeittain eri taimilajeja, näyttää Suonenjoella vuoden 1976 olosuhteissa olevan edullisinta tuottaa myyntiin rauduskoivun taimilajia 1M + 1A sekä kuusen taimilajia 2A × 2Ar. Tässä yhteydessä on syytä muistuttaa, että vertailuun mukaan otettujen myytävien taimilajien määrä rajoitettiin jo esikarsintavaiheessa yhdeksään. Männyn ja rauduskoivun taimet olivat kaksivuotisia sekä kuusen taimet korkeintaan nelivuotisia.

Taimet pyritään yleensä myymään keväällä. Rauduskoivun taimet muodostavat tässä suhteessa poikkeuksen; ne myydään yleensä jo syksyllä. Tämä selittyy sillä, että myytävät taimet pyritään jo syksyllä valmiiksi pakattuina varastoimaan kylmähuo-

Taulukko 6. Taimien tuotantosuunnitelma
Table 6. Nursery stock production plan

Puulaji *Tree species*	Taimilaji *Seedling specification*	Vuosi — *Year* 1976	1977	1978	1979	1980
		1 000 kpl — *1 000 seedlings*				
Mänty — *Pine*	1M	1 485	2 075	—	390	2 105
»	1M + 1A	798	817	1 080	437	352
»	1M + 1Ar	864	1 294	1 900	1 184	—
»	1Lk	—	395	526	526	395
Kuusi — *Spruce*	1A	—	—	47	—	2 105
»	1M	432	432	502	277	—
»	2A	—	—	—	44	—
»	1M + 1A	571	200	122	263	—
»	2A × 1Ar	178	—	—	—	42
»	2A × 2Ar	93	—	—	—	—
Koivu — *Silver Birch*	1(Lk + A)	173	—	281	237	158
»	1M	299	299	299	224	—
»	1A	33	—	—	76	316
»	1M + 1A	278	284	284	284	213
»	1A + 1A	335	32	—	—	72
	Yhteensä — *Total*	5 539	5 828	5 041	3 942	5 758

neeseen. Kun rauduskoivun taimet vaativat runsaasti kylmähuonekapasiteettia huolimatta siitä, että ensimmäisen kauden alussa hankitaan lisää kylmähuonetilaa, eikä kaikkia myytäviä taimia voida varastoida kylmähuoneeseen, on kylmähuoneeseen edullisempaa varastoida vähemmän tilaa vieviä männyn ja kuusen taimia (ks. liite 3

Taulukko 7. Taimien myyntisuunnitelma
Table 7. Nursery stock sales plan

Puulaji *Tree species*	Taimilaji *Seedling specification*	Vuosi — *Year* 1979	1978	1977	1978	1980
		1 000 kpl — *1 000 seedlings*				
Mänty — *Pine*	1M	—	—	—	—	—
»	1M + 1A	589	750	750	1 000	750
»	1M + 1Ar	291	1 125	1 125	1 500	1 125
»	1Lk	—	375	500	500	375
Kuusi — *Spruce*	1A	—	—	—	—	—
»	1M	—	—	—	—	—
»	2A	—	—	—	—	—
»	1M + 1A	897	380	500	500	375
»	2A × 1Ar	169	—	—	—	—
»	2A × 2Ar	89	200	200	200	200
Koivu — *Silver Birch*	1(Lk + A)	164	—	30	30	—
»	1M	—	—	—	—	—
»	1A	—	—	—	—	—
»	1M + 1A	264	270	270	270	202
»	1A + 1A	318	30	—	—	30
	Yhteensä — *Total*	2 781	3 130	3 375	4 000	3 057

taulukko 7). Kylmävarastoinnilla puolestaan estetään taimitarhatöiden ruuhkautuminen alkukevääseen. Kun myytävät taimet ovat kylmävarastossa valmiina nostettavaksi ostajan autoon, pääsevät kevätkoulinnat ja kylvötyöt alkamaan normaalisti myyntinostojen niitä häiritsemättä. Koulinnat suoritetaankin pääasiassa keväällä, joskin rullakoulintaa esiintyy myös syksyllä. Mahdollisuuksien rajoissa nostetaan myös koulittavat taimet syksyllä kylmähuoneeseen. Koska nämä taimet ovat pieniä, eikä kokoerot toisaalta männyn ja kuusen, toisaalta rauduskoivun välillä ole niin suuria kuin myytävien taimien ollessa kyseessä, nostetaan kylmävarastoon koulittavien männyn ja kuusen taimien ohella myös koulittavia rauduskoivun taimia.

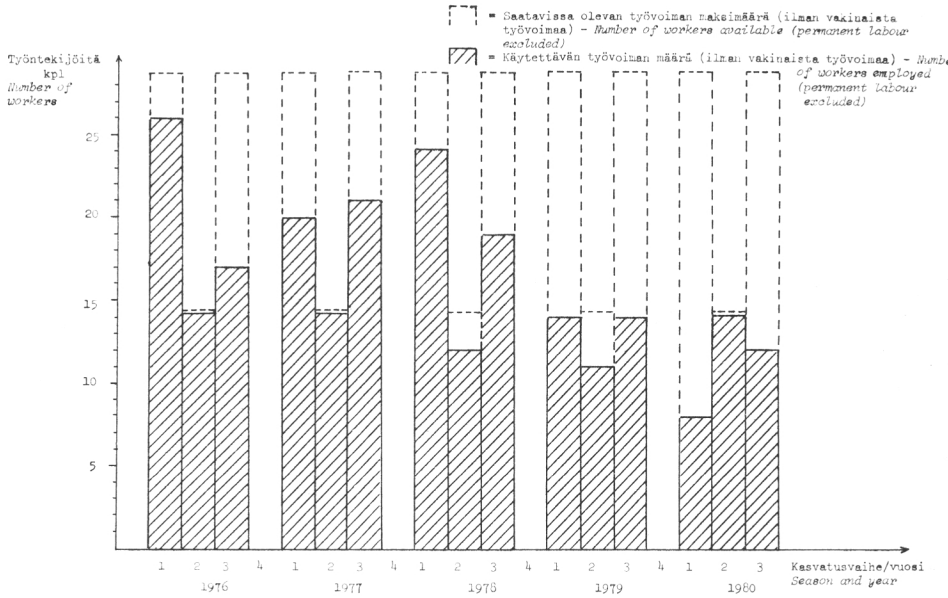
Pitkävaikutteisten tuotannontekijöiden osto- ja myyntisuunnitelma

Pitkävaikutteisia tuotannontekijöitä koskevien muuttujien arvot on pyöristetty kokonaisluvuiksi. Kesämuovihuoneita rakennetaan seuraavasti: v. 1976 4 kpl, v. 1979 10 kpl ja v. 1980 1 kpl, joten suunnitteluajanjakson aikana pystytetään kaikkiaan 15 uutta kesämuovihuonetta. Vastaavasti joudutaan v. 1979 purkamaan kaikki suunnitteluhorisontin alussa taimitarhalla olleet 26 kesämuovihuonetta niiden teknisen käyttöiän umpeutuessa. Lämmitettäviä muovihuoneita ei pureta suunnitteluajanjakson aikana, mutta sen sijaan pystytetään v. 1978 yksi uusi lämmitettävä muovihuone. Suunnitteluajanjakson lopussa on taimitarhalla 11 kesä- ja 2 lämmitettävää muovihuonetta (suunnitteluajanjakson alussa vastaavat luvut ovat 26 ja 1). Traktoreita ostetaan vuonna 1976 yksi ja rajoituksesta 17 johtuen vielä viimeisellä kaudella eli v. 1980 ostetaan yksi traktori. Tällöin sekä suunnitteluajanjakson alussa että lopussa taimitarhan omistuksessa on 2 traktoria. Traktoreita joudutaan vuosien 1977—1979 keväällä (kasvatuskausi 1) vuokraamaan yksi kunakin pääasiassa kevätkoulintojen suorittamiseksi. Vuosina 1976 ja 1978 myydään kumpanakin yksi tekniseltä käyttöiältään vanhentunut traktori. Vuoden 1976 alussa rakennetaan 100 m^3 lisää kylmähuonetilaa. Lainarahoitukseen ei minään vuonna ole tarvinnut turvautua.

Kassaan jää menojen vähentämisen jälkeen vuosittain rahaa seuraavasti: 422 600 mk, 407 100 mk, 521 800 mk, 711 000 mk ja 174 800 mk, eli koko jakson aikana vuodessa keskimäärin 447 660 mk. Summaamalla ja korkoa korolle laskien (jättämällä alkukassa huomioon ottamatta) saadaan loppukassaksi

$$(1{,}05^5 \cdot 422\,600 + 1{,}05^4 \cdot 407\,100 + 1{,}05^3 \cdot 521\,800 + 1{,}05^2 \cdot 711\,100 + 1{,}05 \cdot 174\,800)\ \text{mk} = 2\,607\,300\ \text{mk}$$

Viimeisen vuoden muihin vuosiin nähden heikko tulos johtuu siitä, että tuolloin on osa tuotetuista taimista varastoitava puolivalmisteina, jolloin myynti vastaavasti pienenee. Lisäksi viimeisenä vuotena ostetaan yksi uusi 70 600 mk maksava traktori. Tavoitefunktion, jossa on arvostettu myös loppuomaisuus (siltä osin kuin siihen mallilla on mahdollista vaikuttaa), muttei alkukassaa eikä vuosittaisia kiinteitä kustannuksia, arvoksi saadaan n. 3 800 000 mk.



Kuva 4. Saatavissa olevan työvoiman maksimimäärät sekä käytettävän työvoiman määrät eri kasvatusvaiheissa vuosina 1976—1980 Suonenjoen taimitarhalla

Fig. 4. Maximum number of workers available and number of workers employed at Suonenjoki nursery in 1976—1980 by season

Työvoiman käyttö

Työvoiman saannissa ei esimerkkitaimitarhalla ole oletettu tapahtuvan muutoksia suunnitteluhorisontin aikana, ts. $f_{jk} = f_{j+1,\,k}$, $j = 1, 2, 3, 4$ ja $k = 1, 2, 3, 4$. Kun tässä yhteydessä tarkastellaan työvoimaa lukumääräisesti (henkilöä vuotta ja kasvatuskautta kohti), ovat vuosittain ja kasvatusvaiheittain taimitarhalle saatavissa olevan työvoiman maksimimäärät $f_{j1} = f_{j3} = 28{,}7$ kpl ja $f_{j2} = 14{,}35$ kpl ja $f_{j4} = 0$ kpl. Näissä luvuissa ei ole huomioitu taimitarhan ympärivuotista työvoimaa, vaan ainoastaan varsinaiseen taimien tuottamiseen tarvittava tilapäinen (kasvatuskausien 1, 2 ja 3) työvoima. Kuvassa 4 on esitetty vuosittain ja kasvatusvaiheittain saatavissa olevan työvoiman maksimimäärä katkoviivalla ja optimiohjelmassa käytettävän työvoiman määrä yhtenäisellä viivalla. Kun alunperin eräänä osatavoitteena oli työvoimamäärien tasaisempi jakautuminen eri kasvatusvaiheiden kesken kunakin suunnitteluajanjakson vuonna, voidaan kuvan 4 perusteella todeta, että asetettu tavoite on melko hyvin saavutettu. Vuosi 1980 on tässäkin suhteessa muihin vuosiin nähden poikkeuksellinen. Mainitun vuoden keväällä työvoiman käyttö on suhteellisen vähäistä johtuen taimien varastoinnin aiheuttamasta koulintojen vähenemisestä.

Varjohintojen analyysi

Jokaisen lineaarisen ohjelmoinnin malli, kuten esim. luvussa 3 kehitetty taimitarhan toimintavaihtoehtojen valintaa avustava malli, voidaan esittää muodossa

$$\begin{aligned} \max z &= c^t x \\ Ax &\leq b \\ x &\geq 0 \end{aligned}$$

(Jos rajoituksissa esiintyy yhtälö, se korvataan kahdella epäyhtälöllä ja epäsuuruusmerkin ollessa $\geq$, kerrotaan epäyhtälön molemmat puolet luvulla —1.) Edellä merkintä c^t tarkoittaa pystyvektorin c transpoosia eli vastaavaa vaakavektoria. Matriisin A transpoosi A^t saadaan vaihtamalla sen vaakarivit pystyriveiksi. Kun lineaarisen ohjelmoinnin malli on kirjoitettu yo. muotoon, kutsutaan sitä nimellä primal. Em. valintamallissa vektori $c^t = (c_1, \ldots, c_n)$ käsittää tavoitefunktion kertoimet. Matriisin A alkiot a_{ij} ilmoittavat kuinka paljon tuotannontekijää i (avomaa, rahoitus jne.) on käytettävä prosessin j (taimien valmistus, traktorien ostot jne.) toteuttamiseksi (tai kuinka paljon tietyn prosessin j läpivieminen lisää tietyn tuotannontekijän i käytettävissä olevaa määrää). Vektori $b^t = (b_1, \ldots, b_m)$ ilmaisee tuotannontekijöiden käytölle asetetut rajoitukset.

Jokaista primal-ohjelmaa kohden on olemassa siihen läheisesti liittyvä dual-ohjelma:

$$\begin{aligned} \min Z &= b^t w \\ A^t w &\geq c \\ w &\geq 0 \end{aligned}$$

Voidaan osoittaa (esim. H a d l e y 1962), että jos primal-ohjelmalla on optimiratkaisu (rajoittamatonta ratkaisua ei kutsuta optimaaliseksi), niin silloin on myös dual-ohjelmalla optimiratkaisu. Tällöin pätee edelleen:

$$\max z = \min Z$$

Lisäksi primal-ohjelman ratkaiseminen simplex-menetelmällä (esim. B e a l e 1968) tuottaa samalla myös dual-ohjelman ratkaisun. Dual-ohjelma ratkaisee muuttujille w_i sellaiset arvot, että käytettävien resurssien kokonaisarvo minimoituu eli jokaisen prosessin läpiviemisestä saatava tulo on vähintään yhtä suuri kuin siitä aiheutuva meno. Primal-ohjelmaa vastaavan dual-ohjelman muuttujien w_i arvoja kutsutaan usein primal-ohjelman varjohinnoiksi (shadow prices, dual activities, inputed values). Todettakoon, että jos primal-ohjelman optimiratkaisussa $x_j > 0$, niin

$$\sum_{i=1}^{m} a_{ij} \cdot w_i = c_j$$

eli prosessin j läpiviemisestä aiheutuva kustannus on täsmälleen yhtä suuri kuin siitä saatava voitto. Edelleen tiedetään, että jos i:s rajoitusepäyhtälö on aito (siis $<$ eikä $\leq$) ja optimiratkaisussa ei tuotannontekijää i käytetä sitä määrää kuin olisi mahdollista, niin silloin vastaava varjohinta $w_i = 0$. Edellä todettiin, että tietyillä ehdoilla

$$\max z = \max c^t x = \min Z = \min b^t w$$

eli maksimivoitto on sama kuin tuotannontekijäin käytön minimiarvo. Jos nyt olisi mahdollista lisätä tai vähentää tuotannontekijän i käytettävissä olevaa määrää yhdellä yksiköllä ilman että dual-ohjelman ratkaisu muuttuu, kasvaisi tai vähenisi maksimivoitto määrällä w_i. Niinpä jos optimiratkaisussa $w_i = 0$, merkitsee se sitä, että tuotannontekijästä i jää jäljelle vapaata kapasiteettia eli kyseistä tuotannontekijää ei käytetä niin paljon kuin sitä olisi mahdollista käyttää, niin sen määrän lisääminen b_i:stä $b_i + 1$:een ei millään tavalla vaikuta tavoitefunktion arvoon (tällöin vain vapaata kapasiteettia jää yksi yksikkö enemmän kuin aiemmin; vert. simplex-menetelmän slack-muuttujat).

Jos taas $w_i > 0$, niin vastaava tuotannontekijä i on täydessä käytössä, eikä vapaata kapasiteettia jää. Tällöin tuotannontekijä i muodostaa primal-ohjelmassa »pullonkaulan» eikä primal-ohjelman tavoitefunktion arvo parane ilman tuotannontekijän i käytettävissä olevan määrän lisäämistä. Edellisen perusteella voidaan todeta, että resurssien arvot varjohinnoilla mitattuna ovat vaihtoehtoiskustannuksia lisäkapasiteetin hankkimiselle. Optimiratkaisuun liittyvät varjohinnat kuvaavat primal-ohjelman rajoitusten rajatuottoja tai -kustannuksia.

Ratkaistaessa käytännön ongelmia, joudutaan mallin kertoimia useinkin arvioimaan, sekä yksinkertaistamaan mallin ja reaalimaailman välistä vastaavuutta. Tällöin ei käytännössä sillä, minkä suuruinen voitto mallin mukaan on saavutettavissa, ole kovinkaan suurta merkitystä. Usein on tärkeämpää tietää, mitä voitolle tulee tapahtumaan, jos reaalimaailman olosuhteita kyetään muuttamaan. Näiden seikkojen selvittämisessä mallin avulla on varjohinnoista, parametrisen ohjelmoinnin ohella, suurta apua.

Seuraavassa tarkastellaan taimitarhan tuotantovaihtoehtojen valintaa avustavan mallin (primal) optimiratkaisuun liittyvien varjohintojen w_i dimensioita. Varjohinnat w_i muodostavat samalla vastaavan dual-ohjelman optimiratkaisun. Primal-ohjelman tavoitefunktion jokaisen termin dimensio on markkoja.

Esimerkiksi termissä

$$\sum_j (1+\alpha)^{T+1-j} \sum_{i=1}^{n} p_{ij} \cdot Y_{ij}$$

$(1+\alpha)^{T+1-j}$ on prolongaatiotekijä, jolla ei ole laatua, p_{ij} on 1 000 tietyntyyppisen (i) taimen myyntihinta, joten sen dimensio on mk/1 000 kpl sekä Y_{ij} on tietyntyyppisen taimen myyntimäärä 1 000 kappaleen erissä. Tällöin em. lausekkeessa jokaisen termin dimensio on mk/1 000 kpl · 1 000 kpl = mk.

Aikaisemmin on todettu, että optimiratkaisussa

$$\max z = \min Z$$

Tästä seuraa, että myös dual-ohjelman tavoitefunktion jokaisen termin dimension on oltava markkoja. Merkitään primal-ohjelman optimiratkaisuun liittyvien varjohintojen arvoja kirjaimin $\alpha, \beta, \gamma, \ldots$ Tällöin esim. dual-ohjelman tavoitefunktion termin

$$\sum_{q=1}^{Q} \sum_{j=2}^{T} \alpha \cdot (-k_{q,j})$$

dimension on oltava markkoja. $k_{q,j}$:n dimensio on, kuten tiedetään, tuhansia kappaleita. Tästä seuraa välittömästi, että rajoitukseen 2) liittyvien varjohintojen dimensioiden on oltava mk/1 000 kpl. Rajoitusta 2) vastaavat varjohinnat ilmaisevat siten, kuinka primal-ohjelman tavoitefunktion arvo muuttuu, jos ko. rajoituksen jotakin epäyhtälöä lievennettäisiin yhdellä yksiköllä ts. jos sallittaisiin tietyntyyppisten taimien yhteiskysynnän laskea 1 000 kappaleella. Kun nyt (taulukko 8) esim. $w_{152} = 113{,}34$ (rajoitukseen 1 liittyy 150 epäyhtälöä), merkitsee se sitä, että

$$\sum_{i \in G(2)} Y_{i2} = Y_{32} + Y_{42} + Y_{52} + Y_{62} = k_{22} = 750$$

Jos tällöin olisi mahdollista laskea kysyntäryhmään 2 kuuluvien taimien yhteiskysyntää suunnitteluajanjakson toisella kaudella 749 000 kappaleeseen, paranisi maksimoitavan tavoitefunktion arvo 113,34 markkaa. Esimerkin tilanteessa ei taimitarhan ole kannattavaa myydä kaudella 2 kysyntäryhmään 2 kuuluvia taimia niin paljon kuin mallissa on edellytetty. Em. taulukkoa ei kannata tässä läpikäydä yksityiskohtaisesti. Yleisenä johtopäätöksenä voidaan kuitenkin todeta, että Suonenjoen taimitarhalla olisi sovellutusolosuhteissa mallin mukaan edullista pyrkiä lisäämään kuusen taimien menekkiä.

On syytä huomauttaa, että rajoituksessa tapahtuva kahden yksikön lievennys ei yleensä paranna tavoitefunktion arvoa määrällä $2 \cdot w_i$ (vrt. rajatuotot ja -kustannukset). Korostettakoon lopuksi, että jos b_i todella muutetaan mallissa tilanteesta riippuen joko arvoksi $b_i + 1$ tai (kuten edellä) arvoksi $b_i - 1$ ei tavoitefunktion arvo yleisesti ottaen parane w_i:llä. Tämä johtuu siitä, että optimiratkaisussa mukana olevat muuttujat (kanta) tällöin usein vaihtuvat.

Taulukossa 8 on ilmoitettu, kuinka monta markkaa tavoitefunktion maksimiarvo pienenee (kannan pysyessä muuttumattomana) kun rajoitusepäyhtälön (huom. primal muoto) oikeanpuolen arvo muuttuu arvosta b arvoon b-1 (jos tämä muutos ei pienennä tavoitefunktion arvoa, ei rajoitusepäyhtälö esiinny taulukossa). Rajoitusepäyhtälöt on yksinkertaisuuden vuoksi nimetty 4—5 numeroisin luvuin siten, että kaksi ensimmäistä numeroa ilmaisevat rajoituksen (1—23) sekä jälkimmäiset numerot sen, kuinka mones tähän rajoitukseen liittyvistä epäyhtälöistä on kyseessä. Tässä yhteydessä käytettynä esim. luku 0232 tarkoittaa kysyntäryhmään 2 kuuluvien taimien

Taulukko 8. Tavoitefunktion arvon pienenemiset (varjohinta, mk), kun rajoitusepäyhtälön (i) oikean puolen arvo muuttuu arvosta b_i arvoon b_i—1

Table 8. The objective function value decreases (shadow prices, mk) when the constraint inequality's (i) right hand side value changes from b_i to b_i—1

Rajoitus-epäyhtälö [1] *Constraint inequality* [1]	Varjohinta (mk) *Shadow price (Fmk)*	Rajoitus-epäyhtälö [1] *Constraint inequality* [1]	Varjohinta (mk) *Shadow price (Fmk)*	Rajoitus-epäyhtälö [1] *Constraint inequality* [1]	Varjohinta (mk) *Shadow price (Fmk)*	Rajoitus-epäyhtälö [1] *Constraint inequality* [1]	Varjohinta (mk) *Shadow price (Fmk)*
0106	190,37	01106	595,91	0338	46,10	0463	140,76
0111	195,30	01107	767,48	0401	393,29	0464	97,72
0112	345,39	01108	97,72	0402	218,85	0466	136,44
0113	336,64	01110	3 277,82	0403	270,46	0467	263,80
0114	81,41	01126	223,11	0404	54,47	0468	353,84
0115	296,22	01127	89,59	0405	58,85	0469	104,40
0116	195,30	01128	283,39	0406	401,58	0470	122,44
0117	345,39	01129	2,79	0407	454,60	0471	355,85
0118	336,64	01130	111,36	0408	288,87	0472	283,19
0119	81,41	01131	600,60	0409	63,36	0473	361,80
0120	296,22	01132	550,30	0410	6,91	0474	112,64
0125	360,62	01133	508,26	0411	421,26	0475	130,97
0127	238,88	01134	249,78	0412	536,00	0476	334,30
0128	9,87	01135	111,36	0413	375,86	0477	94,25
0129	82,99	01136	600,60	0414	336,64	0478	113,65
0130	296,22	01137	550,30	0415	111,56	0479	22,42
0134	69,96	01138	510,63	0416	421,26	0480	23,20
0135	361,51	01139	252,33	0417	536,00	0481	241,76
0136	195,30	01140	111,46	0418	375,86	0482	377,49
0137	375,05	01141	379,84	0419	336,64	0483	470,90
0138	335,84	01142	270,73	0420	28,21	0484	224,87
0139	65,65	01143	256,10	0421	461,69	0485	246,99
0140	294,82	01144	16,46	0422	577,27	0486	250,04
0141	243,62	01146	585,90	0423	375,05	0487	206,06
0142	294,07	01147	370,26	0424	335,84	0488	99,48
0143	100,44	01148	117,72	0425	40,53	0490	147,84
0144	94,51	01149	13,50	0427	90,37	0501	1 169,28
0145	928,44	0202	113,34	0428	109,80	0502	502,83
0156	194,25	0203	143,00	0429	16,24	0503	529,16
0164	26,39	0204	53,62	0430	17,02	0504	3 278,08
0166	253,05	0212	78,34	0431	56,60	0505	487,90
0167	2,33	0213	77,54	0432	165,10	0702	162,19
0168	168,98	0232	282,42	0433	290,28	0706	199,87
0169	314,38	0233	281,01	0434	205,06	0718	1 083,20
0174	50,40	0234	912,39	0435	110,35	0805	2,99
0181	80,25	0237	93,06	0436	112,62	0813	0,92
0184	61,42	0240	65,61	0438	333,72	0817	2,97
0185	107,51	0306	305,32	0439	344,90	0911	489,00
0186	194,25	0308	357,44	0440	256,15	0932	239,00
0187	235,20	0310	185,75	0441	59,16	1009	8,46
0188	12,59	0311	2,23	0442	253,05	1101	1 389,00
0189	54,36	0314	183,06	0443	159,72	1116	670,00
0190	107,51	0315	48,30	0444	390,41	1146	4 488,00
0191	194,25	0316	180,67	0445	376,74	1403	188,00
0192	12,59	0317	254,11	0446	69,68	1601	15,89
0193	54,36	0318	719,18	0447	243,09	1605	19,15
0194	107,51	0320	330 69	0448	297,52	1609	20,11
0195	107,51	0321	1,00	0449	71,95	1613	20,70
0196	194,25	0322	195,79	0451	262,51	1614	3,04
0197	235,20	0323	211,55	0452	318,32	1708	17 838,00
0198	12,59	0324	221,54	0454	78,55	1716	19 370,00
0199	54,36	0326	64,67	0455	1 183,96	1717	1 750,00
01100	107,51	0327	234,39	0456	68,78	1724	19 977,00
01101	526,05	0328	912,45	0457	114,00	1725	1 685,00
01102	498,98	0330	661,62	0458	400,62	1732	5 070,00
01104	54,22	0336	18,95	0459	348,20	1901	21 930,00

[1] Rajoitusepäyhtälö on ilmaistu 4—5 numerolla siten, että kaksi ensimmäistä numeroa ilmaisevat rajoituksen (1—23) sekä jälkimmäiset ko. rajoitukseen liittyvien epäyhtälöiden järjestysnumeron.

[1] *The constraint inequality has been expressed with 4 or 5 integers so that the first two integers express the constraint (1—23) and the rest the order of appearance of each individual constraint within the group.*

yhteiskysynnän minimivaatimusta kaudella 5 ($q = 1, 2, \ldots, 10$; $j = 2, 3, 4, 5$). Samoin tulkittuna vastaisi luku 0501 kysyntäryhmään 1 kuuluvien taimien loppuvarastovaatimusta.

Varjohintojen avulla voidaan tehdä päätelmiä rajoitusten keskinäisestä tärkeysjärjestyksestä taimitarhan toiminnan kannalta. Näin ollen voidaan taulukon 8 perusteella todeta, että taimitarhan taloudellista tulosta silmälläpitäen olisi edullisempaa saada nostettua kysyntäryhmään 8 kuuluvien taimien yhteiskysyntää 1 000 kpl kuin samalla määrällä kysyntäryhmään 7 kuuluvien taimien yhteiskysyntää kausina 3 ja 4.

Ratkaisumenetelmän generoiman ratkaisun perusteella voidaan päätellä, kuinka paljon kantaan kuulumattoman muuttujan (= sellainen muuttuja, joka ei ole mukana optimaalisessa toimintasuunnitelmassa) kustannuskertoimen (c_j) täytyy muuttua ennen kuin kyseinen muuttuja tulee kantaan. Erityisen mielenkiintoista on nähdä, kuinka paljon eräiden taimilajien hinnan olisi kohottava ennenkuin niitä kannattaisi taimitarhalla (tässä tapauksessa siis Suonenjoen taimitarha) kasvattaa myyntiin. On selvää, että alkuvarastossa olevat sellaiset taimet, joita ei enää voida pitää puolivalmisteina, tulevat ensimmäisenä kautena myydyksi, olipa niiden myyntihinta mikä tahansa. Toisaalta viimeisen kauden tarkasteluja vaikeuttaa se, että taimia on valmistettava loppuvarastoon, vaikkakin niitä olisi edullista myydä. Näin ollen tarkastellaan, kuinka paljon eri tuotantoketjuja pitkin kasvatettujen taimien hinnan pitää nousta kausina 2, 3 ja 4, jotta kyseinen taimilaji tulisi mukaan optimaaliseen myyntiohjelmaan. Edellä mainitut hintojen nousut (mk/1 000 tainta) on esitetty taulukossa 9. Taulukkoa

Taulukko 9. Eri tuotantoketjuja pitkin kasvatettujen taimien myyntihintoihin tarvittavat lisäykset (mk/1 000 tainta) jotta ko. taimi tulisi mukaan optimaaliseen myyntisuunnitelmaan. Sarakkeessa esiintyvä 0 indikoi taimen kuulumista optimaaliseen myyntisuunnitelmaan

Table 9. The excesses needed for prices of plants produced by different production methods (the unit used is Fmk/1 000 plants) to place a plant in its optimal sales plan. The zero value means that the plant belongs to its optimal sales plan

Tuotantoketjun numero *Number of production method*	*Vuosi — Year*		
	1977	1978	1979
1	218	0	0
2	402	234	5
5	30	0	30
6	269	10	30
7	0	0	45
12	404	259	32
13	157	221	89
15	252	72	0
16	273	0	28
17	165	335	7
21	309	0	54
22	437	0	0
26	10	0	0
28	0	2	3
29	0	138	161
30	0	0	10

on tiivistetty siten, että jos taimilaji on kuulunut optimaaliseen myyntisuunnitelmaan kaikkina tarkastelun kohteena olevina kausinta (2, 3 ja 4 eli vuosina 1977—79) on sitä vastaava (nollia sisältävä) rivi jätetty pois. Taulukossa esiintyvä nolla indikoi vastaavaa tuotantoketjua noudattaen kasvatetun taimilajin kuulumista optimaaliseen tuotantosuunnitelmaan kyseisenä vuonna. Muistettakoon, että tuotantoketjuja 1, 2, 10, 11, 15, 16, 23, 24 ja 25 pitkin kasvatettuja taimilajeja ei sovellutustilanteessa oleteta voitavan myydä (ks. sivu 53).

Taulukon 9 ja liitteen 3 taulukon 8 perusteella voidaan nähdä, että eräiden 1-vuotisten taimien hinnan olisi noustava jopa 3—4 kertaiseksi, ennenkuin ne tulisivat mukaan kantaan. (Koska ketjuilla 1, 2, 15 ja 16 tuotetuilla taimilla ei ole mallissa oletettu olevan menekkiä, ne siirtyvät kantaan nolla-tasolla). Keskisuurten ja suurten taimien hintoihin riittää toisinaan vain muutaman prosentin lisäys. Tämä on omiaan karsimaan jo myyntisuunnitelmasta metsänistutuksen kannalta liian heiveröisiä taimia. Puulajeja vertailtaessa näyttää (niissä tapauksissa, joissa hinnankorotusta em. mielessä tarvittaisiin) keskimäärin pienimmän hinnankorotuksen tarvitsevan koivuntaimet. On kuitenkin muistettava, että näihin lisäyksiin vaikuttaa sekä taimien viljelykustannusten estimoinnissa syntyneet virheet että taimien hinta- ja kustannustasoa ennustettaessa käytettyjen menetelmien virheet. Taimien hinnoittelun onnistumisen suhteen ei pelkästään näiden lukujen perusteella voida tehdä johtopäätöksiä, sillä ne koskevat vain po. sovellutustilannetta. Lyhyellä tähtäimellä tällaista menettelyä voitaisiin kuitenkin käyttää myös päinvastoin eli eri taimilajien hinnanmäärittelyyn siten, että mallia sovelletaan samanaikaisesti usealle taimitarhalle.

6. PÄÄTELMIÄ

Mallia voidaan käyttää apuna keskustaimitarhojen toiminnan keskipitkän (3—6 v.) tähtäyksen suunnittelussa. Mallin avulla voidaan tuotanto-ohjelma pyrkiä suunnittelemaan siten, että kasvatuskauden työhuiput tasaantuvat. Tähän päästään muuttelemalla eri kasvatusvaiheissa saatavissa olevan työvoiman määrää. Työhuippujen tasaaminen tulee sitä merkityksellisemmäksi mitä vaikeammaksi työvoimatilanne tulevaisuudessa taimitarhoilla muodostuu.

Mallia voidaan käyttää laajemminkin kuin yhden taimitarhan toiminnan suunnitteluun. Soveltamalla mallia samanaikaisesti useilla taimitarhoilla, voidaan sitä käyttää apuna taimien hintojen määrityksessä tutkimalla, kuinka paljon kunkin tyyppisen taimilajin hinnan pitää ko. taimitarhoilla nousta, jotta se kuuluisi optimaaliseen tuotantosuunnitelmaan.

Mallin tehokas käyttö, kuten taimituotannon suunnittelun kehittäminen yleensäkin, edellyttävät kuitenkin taimitarhojen informaatiojärjestelmien edelleen kehittelyä.

KIRJALLISUUS

BEALE, E. M. L. 1968. Mathematical programming in practice. 191 p. London. Pitman Publishing.

Burroughs. 1974. Large systems TEMPO, mathematical programming systems. User's manual. Detroit. Burroughs Corporation.

HADLEY, G. 1962. Linear Programming. 520 p. Reading. Addison-Wesley.

HINTTALA, T. 1977. Suullinen lausunto Suonenjoen taimitarhan taimien myyntimahdollisuuksista.

HOLOPAINEN, V. 1970. Vastuun metsäpolitiikka. 160 s. Helsinki. Kirjayhtymä.

HONKO, J. 1955. Koneen edullisin pitoaika ja investointilaskelmat. 276 s. Helsinki. Oy Weilin & Göös Ab. (Jakelu: Liiketaloudellinen tutkimuslaitos).

HÄMÄLÄINEN, J. 1973. Profitability comparisons in timber growing: underlying models and empirical applications. Commun. Inst. For. Fenn. 90 (3): 1—178.

JÄÄSKELÄINEN, V. 1964. Integroiduista suunnittelulaskelmista yrityksessä erityisesti likviditeetin ja aikatekijän huomioonottaen. 203 s. Helsinki. Lisensiaattitutkielma.

KELTIKANGAS, M. 1971. Ehdotus taimitarhojen kustannuslaskentajärjestelmäksi. 45 s. Helsingin yliopison metsätalouden liiketieteen laitoksen julkaisuja. Nr 8.

—»— & TIILILÄ, P. 1968. Metsäpuiden taimien kasvatuskustannukset vv. 1961—66. Ennakkotuloksia.

KUOKKANEN, P. 1970. Tarvitaanko taimitarhoilla kustannuslaskentaa? Metsä ja Puu 87 (12): 8—10.

—»— 1971. Tuotevalinta taimitarhoilla. Metsä ja Puu 88 (1): 13—16.

LEHTO, J & SIMOLINNA, J. 1966. Metsäpuiden taimien kasvattaminen. 235 s. Helsinki. Kirjayhtymä.

Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhan toimintakertomus v. 1975.

Metsätalouden siemen- ja taimilautakunta. 1976. Taimijaosto.

Metsätilastollinen vuosikirja. 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974. Folia For. 69, 130, 165, 195, 225.

PALO, M. 1971. Metsällisten projektien verkkosuunnittelu. Summary: Planning forestry projects by means of network analysis. Folia For. 133: 1—48.

RAULO, J. 1974. Rauduskoivun taimilajin 1 A + 1 A tuottaminen. Metsäntutkimusl. Metsänvilj. koeas. tiedonant. 10: 1—10.

—»— & HINTTALA, T. 1972. Taimilajien merkitsemisestä. Metsä ja Puu 89 (5): 31.

ROLLOF, Y. 1967. Taloudellinen varastointi. 264 s. Helsinki. Kk:n kirjapaino.

RUOTTINEN, M. 1975. Suonenjoen ja Pieksämäen taimitarhojen taimitoimitukset vuosina 1971 ja 1972. Metsäntutkimusl. Metsänvilj. koeas. tiedonant. 13: 1—27.

SELBY, A. 1975. Afforestation of fields in Finland: Agricultural background and recent achievements. Seloste: Peltojen metsitys Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 82 (4): 1—46.

SIPPONEN, T. 1974. Kirjanpidollisen yritysmallin laatiminen ja mallin käyttö yrityksen rahoituksen ja investointien suunnittelussa. Liiketal. aikakausk. 2.

TÖRNQVIST, L. 1974 a. Aikasarjojen konstruointi. Helsinki. Oy Gaudeamus Ab.

—»— 1974 b. Aikasarjojen analyysi ja ennustaminen. Helsinki. Oy Gaudeamus Ab.

VILJO, T. 1974. Vuoden 1967 yksityismetsälaki selityksineen. 139 s. Helsinki. Kirjayhtymä.

SUMMARY

1. Introduction

A general impression of the extent of plant production for forestry purposes in Finland can be gained from the statistics of the land area reserved for plant production (see Table 1). In recent years, the total land area taken up by nurseries in Finland has decreased (see Table 2). In 1975 approximately 192 million plants were used for forestry purposes (see Table 3) and the monetary value of these amounted to approximately 30 mill. Fmk.

Since the annual production volume for a single central nursery rises to several millions of plants, questions of plant types, production methods and production volumes need to be answered. In this study, the production goal set for a nursery is to produce a range of products which will maximise the combined sum of both a) the sum of annually formed contribution profits and b) the value of liquid and current assets at the end of the planning period.

The calculation of the annual contribution profit is based on the government controlled prices charged for plants sold by central nurseries and on the assumption that the production costs for plants raised by different methods can be estimated with sufficient accuracy. Financial and production factor resources were not to be exceeded in seeking to attain the above mentioned goal.

2. Forest tree nurseries — multi-product enterprises

In a nursery, production factors can be divided into two categories — those with a long-term effect (such as plastic greenhouses for raising plants in, cold storage rooms, tractors, and the land on which production is carried out) and those with a short-term effect (including labour force and raw materials).

The symbols used for the various seedling types include both those generally in use in Finland (Raulo & Hinttala 1972) as well as those presented in Appendix 1.

According to the forestry improvement programme MERA-III, the annual regeneration area in Finland during the period 1975—80 should be in the range of 230 000—250 000 hectares. These include the areas of afforestation but the afforestation of fields is excluded. The programme assumes an annual field afforestation area of 30 000 hectares during 1976—80.

It is apparent that the above targets will not be achieved — at least not in the near future. And indeed, the timber production programme, which was made public in 1976, has settled for a figure of 138 000 hectares as being the regeneration area in 1982.

Each production method is suited for the production of one and only one seedling type. One and the same seedling type can, however, be produced by more than one production method (see p. 15 and Fig. 1 p. 22).

In Fig. 1 the nursery operations are presented in the form of a network. The starting point is the block at the extreme left and one advances in the direction indicated by the arrows. At each

block the previous raising stage in the production method ends and the stage indicated in the block commences (see Appendix 1). Production methods end at the double-framed blocks. Here the row of symbols preceded by α corresponds to the manner of designating plant types as presented in Appendix 1. The β-row represents the general nursery practice. The variable t represents time consumed at various stages of production. The continuous movement of »plants» within the network is indicative of plant raising activities of the nursery.

3. Constructing the model

The preceding section demonstrated that production methods can be thought to consist of stages and that it is possible to produce the one and the same seedling type by different production methods. This being so, the question arises what seedling types to be produced and what production methods to be engaged with in the production of the chosen seedling types. The production programme alternatives of the various production method combinations were compared by linear programming. The goal function is representative of the main goal and the subsidiary goals. The production constraints are given in the form of constraint inequalities.

If a certain production method is an exact replica of the early stages of some other production method, then the afore mentioned is termed as the latter's predecessor. The use of this term, however, is restricted to instances where two production methods differ from one another by only one stage of production. In this connection, sales codes and abbreviations related to transplanting are ignored (see Appendix 1). The symbols E(i) are used to designate the predecessor of method i. Hereafter, E(i) is interpreted as being a set containing a single element or as the empty set = Ø. The set of successors to such a method are designated by the symbols S(i), $S(i) = \{jj \mid E(j) = i\}$.

An example.

Production method	Method number
$M(S_2mk)$	i
$M(S_3mk)$	i + 1
$M(S_3) +_k a(ms)$	i + 2
$M(S_3) +_r a(ms)$	i + 3

Here $E(i + 2) = i + 1$, $E(i + 3) = i + 1$
and $S(i + 1) = i + 2$, $i + 3$ $(E(i) = E(i + 1) = S(i) = S(i + 2) = S(i + 3) = Ø)$

Plant types were grouped according to demand categories G(q), where q indicates the demand category's number. A demand category contains all those seedling types which can be thought of as being equivalents of one another in forest planting.

The model in its entirety and the symbols used are presented in Appendix 2. Inequalities (1)—(5) represent the constraints arising from production, demand and final storage requirements set by the plants.

Constraints related to factors of production are given in the form of inequalities (6)—(19).

Even though government finance in various forms has been available, loans as an alternative form of finance for a nursery were included in this study. Maximum limits for loans taken were set by season and type of loan. In addition, the maximum total debt burden for a nursery was decided upon. The loan constraints in the model are given as inequalities (20)—(22).

The continuous operation of a nursery presupposes that cash and other liquid assets are in sufficient supply to meet expenditures occurring at any moment during the planning period. For this requirement to be faihtfully included in the model, it would be necessary for the planning period

to be sub-divided into that number of intervals which would assure that for each interval there would be at the most only one transaction to diminish cash funds. In practice, this is almost impossible. For this reason, cash transactions are examined on a seasonal basis. The assumption is made that if the nursery is solvent at the end of such a season, it is solvent during the season (i.e. one year).

Another presupposition linked to the model is that at the end of each season a certain sum of money is withdrawn from the nursery's cash in hand and that this money is used for purposes other than those of financing nursery operations (cf. Hämäläinen 1973). The solvency constraint is represented by inequality (23).

Precisely defined, the goal is to maximise the combined sum of both (i) contribution profits compounded to the end of the planning period and (ii) the sum of liquid and current assets at the end of the same period. The end values for long-term factors of production were calculated as the difference between the re-acquisition price and the cumulative equally phased depreciation. Tractors and plants to be left in final storage were valued using the prices of the season just ending. The sales prices for those plant types not expected to be sold were calculated on the basis of the raising costs and the sales prices of the plant types destined to be sold. The goal function is given in Appendix 2.

4. The information required by the model

The initial information categories are given in Tables 1—15 of Appendix 3. The information categories related to the future in these tables were arrived at by using so called naive forecasting methods (Törnqvist 1974 b).

5. Testing of the model

The applicability of the model as a basis for nursery production plans was tested at the Forest Research Institute's nursery in Suonenjoki. Even though the nursery is a research nursery, there is a commercially operating sector within it, thus one is justified in testing and developing nursery production planning methods there. The total land area in use at the nursery is 11,71 hectares (see Table 5).

Calculations were carried out by using the TEMPO linear programme of a B6700-computer (see Burroughs . . . 1974). Approximately 11,7 minutes of computer time was consumed in order to obtain the optimum solution.

Table 6 shows the production plan and Table 7 the corresponding sales plan. When the various seedling types were compared to one another according to tree species, it became apparent that birch transplants of the 1 M + 1 A as well as spruce transplants 2 A × 2 Ar gave the most favourable result.

One has to observe that already in the preliminary phase of the study the number of plant types was restricted to nine. The pine and Silver Birch plants were two years old and the spruce plants four years at most.

The dashed line in Fig. 4 represents the estimated maximum of the available local labour force and the continuous line indicates the labour force required by the optimum alternative. These are given both as annual figures and as per raising stage. On recalling that one of the subsidiary goals was to bring about a more even distribution of labour inputs (see Table 4), it is interesting to note that this has been achieved to quite an extent.

Table 8 shows the diminutions occurring in the values for the goal function. These are caused by tightening active constraints. Table 9 shows how much the price of plants raised by various methods should rise for plants to be included in the optimum production plan.

6. Conclusions

The model can be used as a tool in making medium-term (3—6 a) plans for central forest tree nurseries. The labour input peaks can be evened out by using the model. This is indeed of current interest to nursery-men, since the labour factor has become an ever greater problem in the recent years. In addition, the model serves the purpose of determining prices to be charged for plants. A prerequisite for gaining full benefit from the model, as well as to the development of nursery production in general, is the further improvement of information systems in the nurseries.

LIITTEET — *APPENDIXES*

Liite 1. Taimien teknisten tuotantoketjujen tuotantovaiheiden merkkisymbolit merkityksineen.
Appendix 1. Key for the symbols used to designate production stages in raising seedlings.

Kasvatuspaikkaa ilmaisevat päätunnukset:
Symbols related to the raising environment:

L = Lämmitettävä muovihuone
Heatable plastic greenhouse

M = Kesämuovihuone
Summertime plastic greenhouse

A, a = Avomaa
Open ground

Päätunnusten yhteydessä käytettävät lisätunnukset:
Additional symbols:

r = Kylvö tai koulinta suoritettu muovirulliin
Sowing or transplanting into plastic rolls

t = ... turveruukkuihin
... into peat-pats (peat containers)

k = ... paperikennoihin
... into paper-pots

y = ... jollakin edellä esittämättömällä menetelmällä
... employing some other method

$+_r$ = Rullakoulinta keväällä tai kesällä
Transplanting into rolls in the spring or summer

$+_k$ = Konekoulinta keväällä tai kesällä
Mechanisied transplanting in the spring or summer

$\times_r$ = Rullakoulinta syksyllä
Transplanting into rolls in the autumn

$\times_k$ = Konekoulinta syksyllä
Mechanised transplanting in the autumn

— = Taimen siirto ilman koulintaa
Seedling translocated without being transplanted

, = Kasvuolosuhteiden vaihdos ilman siirtoa tai koulintaa
Change in the raising environment without translocation or transplanting of seedlings

mk = Myynti keväällä
Seedling sales in the spring

ms = Myynti syksyllä
Seedling sales in the autumn

S_1 = Taimen jättö syksyllä kasvupaikalleen
Seedling left in the place of raising in the autumn

S_2 = Taimen valeistutus syksyllä
Seedling heeled-in in the autumn

S_3 = Taimen nosto syksyllä kylmävarastoon
Seedling lifted in the autumn for cold storage

Liite 2. Taimien tuotantovaihtoehtojen valintaa avustava malli. Seuraavassa on luettelonomaisesti esitetty mallissa käytetyt symbolit merkityksineen ja tämän jälkeen mallin tavoitefunktio ja lopuksi rajoitukset.

Appendix 2. A model to assist in making the choice between seedling production methods. Symbols with their explanations, the objective function and the constraints.

N = Tarkasteltavana olevien vaihtoehtoisten tuotantoketjujen lukumäärä
The number of alternative production methods

T = Suunnitteluhorisontin kasvatuskausien lukumäärä
The number of raising seasons within the period encompassed by the production plan

X_{ij} = Tuotantoketjua i noudattaen kauden j alussa tuotantoon asetettava taimimäärä
The seedling volume aimed at the beginning of season j employing production method i

Y_{ij} = Tuotantoketjulla i tuotettujen taimien myyntimäärä kaudella j
The sales volume of seedlings raised according to production method i during season j

$E(i)$ = Tuotantoketjun i edeltäjäketju
The production method prior to method i

$S(i)$ = Tuotantoketjun i seuraajaketjujen joukko
The group of successors for production method i

α_{ij} = Tuotantoketjuun i liittyvä saantoluku kaudella j
The yield figure for production method i for season j

K_{qj} = Kysyntäryhmään q kuuluvien eri tuotantoketjuilla tuotettujen taimien yhteiskysyntä kaudella j
The total demand during season j for seedlings in demand category q raised by the various production methods

Q = Kysyntäryhmien lukumäärä
The number of demand categories

$G(q)$ = Kysyntäryhmään q kuuluvien taimien tuotantoketjujen joukko
The group of production methods related to seedlings in demand category q

v_i = Kysyntäryhmittäinen loppuvarasto niille taimilajeille, joilla on seuraaja
Final stores by demand categories for those seedling types which have a successor

δ Tuotantoketjukohtainen vakio, joka = 1 jos taimi myydään syksyllä ja = 0 muulloin
The constant related to production method in question. The value of the constant = 1 if the plant is sold in the autumn and = 0 if sold at any other time

n Kasvatuskauden kasvatusvaiheiden lukumäärä
The number of raising stages during one raising season

W_{ijk} Tuotantoketjuun i liittyvä työmenekki kaudella j kasvatusvaiheessa k
Labour consumption for production method i during (raising) season j at production stage k

f_{jk} Kaudella j kasvatusvaiheessa k taimitarhalle saatavissa oleva työvoimakapasiteetti
The available labour force at the nursery's disposal during (raising) season j at raising stage k

a Kesämuovihuoneen tehopinta-ala
The effective area of a summertime plastic greenhouse

a_{ijk} Tuotantoketjua i noudattaen tuotettavan taimen vaatima kesämuovihuoneala kaudella j kasvatusvaiheessa k
The area of summertime plastic greenhouse required by a plant raised according to production method i during (raising) season j at raising stage k

z_j^o Kaudella j perustettavien kesämuovihuoneiden lukumäärä
The number of summertime plastic greenhouses to be erected during (raising) season j

$\bar{z}_j^t$ Kaudella j purettavien t vuotta (kausi) vanhojen kesämuovihuoneiden lukumäärä ($t \geq 1$)
The number ($t \geq 1$) of t years old summertime plastic greenhouses to be dismantled during (raising) season j

zz_j^t t vuotta vanhojen kesämuovihuoneiden lukumäärä kaudella j
The number of t years old summertime plastic greenhouses during (raising) season j

$\bar{a}$ Kesämuovihuoneiden tarvitsema avomaan ala
The area of open ground required by a summertime plastic greenhouse

u_j^o Kaudella j perustettavien lämmitettävien muovihuoneiden lukumäärä
The number of heatable plastic greenhouses to be erected during (raising) season j

$\bar{u}_j^t$ Kaudella j purettavien t vuotta vanhojen lämmitettävien muovihuoneiden lukumäärä ($t \geq 1$)
The number of heatable t years old plastic greenhouses to be dismantled during (raising) season j ($t \geq 1$)

u_o^t t vuotta vanhojen lämmitettävien muovihuoneiden lukumäärä suunnitteluhorisontin alussa ($t \geq 1$)
The number of heatable t years old plastic greenhouses at the beginning of the period entailed by the plan ($t \geq 1$)

g Lämmitettävän muovihuoneen tehopinta-ala
The effective area of a heatable plastic greenhouse

g_{ijk} Tuotantoketjua i noudattaen tuotettavan taimen vaatima lämmitettävän muovihuoneen tehopinta-ala kaudella j kasvatusvaiheessa k
The effective area of heatable plastic greenhouse required for raising plants according to production method i during (raising) season j at raising stage k

uu_j^t t vuotta vanhojen lämmitettävien muovihuoneiden lukumäärä kaudella j
The number of t years old heatable plastic greenhouses during (raising) season j

$\bar{g}$ Lämmitettävän muovihuoneen tarvitsema avomaan ala
The area of open ground required by a heatable plastic greenhouse

b Avomaan pinta-ala suunnitteluhorisontin alussa
The area of open ground at the beginning of the period entailed by the plan

b_{ijk} Tuotantoketjua i noudattaen tuotettavan taimen vaatima avomaa-ala kaudella j kasvatusvaiheessa k
The area of open ground required by a plant raised according to production method i during (raising) season j at raising stage k

B Taimitarhalla viljelyyn käytettävissä oleva kokonaispinta-ala
The total area available for plant production at the nursery

c_j Kaudella j rakennettavien kylmähuonekokonaisuuksien lukumäärä
The number of cold storage units to be built during (raising) season j

$\bar{c}$ Kylmähuonekokonaisuuden tuoma lisäkapasiteetti
The additional capacity afforded by a cold storage unit

c_o Kylmähuonekapasiteetti suunnitteluhorisontin alussa
The cold storage capacity at the beginning of the period entailed by the plan

c_{ijk} Tuotantoketjua i noudattaen tuotettavan taimen kylmähuonekapasiteetin tarve kaudella j kasvatusvaiheessa k
Cold storage capacity required by a plant raised according to production method i during (raising) season j at raising stage k

t_j^o Kaudella j ostettavien uusien traktoreiden lukumäärä
The number of new tractors to be purchased during (raising) season j

$\bar{t}_j^t$ Kaudella j myytävien t vuotta vanhojen traktoreiden lukumäärä ($t \geq 1$)
The number of t years old tractors to be sold during (raising) season j ($t \geq 1$)

t_o^t t vuotta vanhojen traktoreiden lukumäärä suunnitteluhorisontin alussa
The number of t years old tractors at the beginning of the period entailed by the plan

$\bar{t}_{jk}$ Kaudella j kasvatusvaiheessa k vuokrattavien traktoreiden lukumäärä
The number of tractors to be hired during (raising) season j at raising stage k

e_{ijk} Tuotantoketjua i noudattaen tuotettavan taimen vaatima traktorikapasiteetti kaudella j kasvatusvaiheessa k
Tractor capacity required for raising a plant according to production method i during (raising) season j at raising stage k

e_k Yhden traktorin kapasiteetti kasvatusvaiheen k aikana
The capacity of one tractor at raising stage k

tt_j^t t vuotta vanhojen traktoreiden lukumäärä kaudella j
The number of t years old tractors during (raising) season j

T_{jk} Kaudella j kasvatusvaiheessa k vuokralle saatavissa olevien traktoreiden lukumäärä
The number of tractors available for hire during (raising) season j at raising stage k

t_{jk} Vuokratraktorin aiheuttama keskimääräinen lisäkustannus kaudella j kasvatusvaiheessa k
The mean additional cost from hiring a tractor during (raising) season j at raising stage k

I^1 Kesämuovihuoneen maksimaalinen tekninen käyttöikä
The maximum length of the period served by a summertime plastic greenhouse

I^2 Lämmitettävän muovihuoneen maksimaalinen tekninen käyttöikä
The maximum length of the period served by a heatable plastic greenhouse

I^3 Traktorin maksimaalinen tekninen käyttöikä
The maximum length of the period served by a tractor

l_j^k Kaudella j nostettavan sellaisen lainan määrä, jonka takaisinmaksuaika on k vuotta
The amount of a loan taken during (raising) season j, the repayment period for the loan being k years

d Lainoista maksettava korkoprosentti
The rate of interest to be paid on the loans

L_j^k k:ksi vuodeksi saatavan lainan enimmäismäärä kaudella j
The maximum amount of a loan given for k years during (raising) season j

$\overline{L}_j$ Kokonaislainamäärän maksimi kaudella j
The maximum sum of all loans during (raising) season j

P_{ij} Tuotantoketjua i noudattaen tuotetun taimen myyntihinta kaudella j
The price of a plant raised according to production method i during (raising) season j

t_j^t t vuotta vanhan traktorin keskimääräinen myyntihinta kaudella j
The mean price of a t years old tractor during (raising) season j

r_{ij} Tuotantoketjua i noudattaen tuotetun taimen muuttuvat viljelykustannukset kaudella j
The variable production costs of a plant raised according to method i during (raising) season j

s_j Taimitarhan kiinteät kustannukset sekä jakamattomat, taimilajien yhteiset viljelykustannukset
The fixed costs for the nursery plus the collective production costs for all plant types

$\hat{t}_j$ Uuden traktorin hinta kaudella j
The price of a new tractor during (raising) season j

$\hat{c}_j$ Perustetun kylmähuoneyksikön hankintameno kaudella j
The capital expense represented by a cold storage unit during (raising) season j

$\hat{u}_j$ Pystytetyn, lämmitettävän muovihuoneen hankintameno kaudella j
The capital expense represented by an erected heatable plastic greenhouse during (raising) season j

$\hat{z}_j$ Pystytetyn kesämuovihuoneen hankintameno kaudella j
The capital expense represented by an erected summertime plastic greenhouse during (raising) season j

V_j Kassasta kauden j lopussa taimitarhatoiminnan ulkopuolisiin tarkoituksiin nostettava rahasumma
The amount of money needed from cash on hand for purposes external to the nursery at the end of (raising) season j

V_o Alkukassa
Initial cash on hand

l Taimitarhalle t_1 vuotta ennen suunnitteluhorisontin alkua nostetun sellaisen lainan määrä, jonka takaisinmaksuaika on k_1 vuotta ja $k_1 > t_1$
The amount of a loan taken by the nursery t_1 years previous to the period entailed by the plan, the repayment period for the loan being k_1 years with $k_1 > t_1$

α Prolongointiin käytetty laskentakorko
The rate of interest used in compounding

β Kassassa oleville varoille maksettava korkoprosentti
The rate of interest paid for money as cash on hand

h_j Kaudella j vuokrattava maa-ala
Land to be rented in (raising) season j

H_j Vuokramaan maksimimäärä kaudella j
The maximum area of land to be rented for (raising) season j

$\hat{h}_j$ Vuokramaan yksikkökustannus kaudella j
Unit costs of renting land during (raising) season j

Taimitarhan toimintavaihtoehtojen valinnan liiketaloudellinen malli
Economic model for selecting production alternatives in a forest nursery

Maksimoi:
Maximize:

$$\max \sum_{j=1}^{T} (1+\alpha)^{T+1-j} \left\{ \sum_{i=1}^{N} P_{ij} \cdot Y_{ij} + \sum_{t=1}^{I^3} \hat{t}_j^t \cdot \bar{t}_j^t - \sum_k d \left[\sum_{i=\max\{1,\, j-k+1\}}^{j} l_i^k - \sum_{i=\max\{1,\, j-k+1\}}^{j-1} (j-i) \cdot l_i^k / k \right] - \sum_{i=1}^{N} r_{ij} \cdot X_{ij} - \sum_{i=1}^{n} t_{ji} \cdot \bar{\bar{t}}_{ij} - z_j^o \cdot \hat{z}_j - u_j^o \cdot \hat{u}_j - c_j - \hat{c}_j - t_j^o \cdot \hat{t}_j - h_j \cdot \hat{h}_j \right\} +$$

$$\sum_{i=1}^{N} (\alpha_{iT} X_{iT} - Y_{iT}) \cdot p_{iT} + \sum_{t=1}^{I^1-1} zz_T^t \cdot (I^1-t-1)/I^1 \cdot \hat{z}_T + \sum_{t=1}^{I^2-1} uu_T^t \cdot (I^2-t-1)/I^2 \cdot \hat{u}_T +$$

$$\sum_{t=1}^{I^3-1} tt_T^t \cdot \hat{t}_T^{t+1} + \sum_{j=1}^{T} c_j^o \, (j-1/T) \cdot c_j$$

Ottaen huomioon seuraavat rajoitukset:
Subject to the following constraints:

1) $\alpha_{ij} \cdot X_{ij} \geq Y_{ij}$ — $i = 1, 1, \ldots, N$; $j = 1, 2, \ldots, T$

2) $\sum_{i \in G(q)} Y_{ij} \geq k_{qj}$ — $q = 1, 2, \ldots, Q$; $j = 2, 3, \ldots, T$

3) $\sum_{i \in G(q)} Y_{ij} \leq K_{qj}$ — $q = 1, 2, \ldots, Q$; $j = 2, 3, \ldots, T$

4) $\sum_{p \in S(i)} X_{pj} \leq \alpha_{l,\, j-\delta} \cdot X_{l,\, j-\delta} - Y_{l,\, j-\delta}$ — $i = 1, 2, \ldots, N$; $j = 1, 2, \ldots, T$
$S(i) \neq \emptyset \quad E(p) \neq \emptyset \quad l \in E(p) \quad l \in E(p)$

5) $\sum_{i \in G(q)} \alpha_{iT} \cdot X_{iT} - Y_{iT} \geq v_q$ — $q = 1, 2, \ldots, Q$
$S(i) \neq \emptyset$

6) $\sum_{i=1}^{N} W_{ijk} \cdot X_{ij} \leq f_{jk}$ — $j = 1, 2, \ldots, T$; $k = 1, 2, \ldots, n$

7) $\sum_{i=1}^{N} a_{ijk} \cdot X_{ij} \leq a \cdot \sum_{t=1}^{I^1} zz_j^t$ — $j = 1, 2, \ldots, T$; $k = 1, 2, \ldots, n$

$$zz_j^t = z_o^{t-j} + z_{jt+-1}^o - \sum_{p=1}^{j-1} \bar{z}_p^{tj-+p}$$

missä
where

$$z_o^{t-j} = 0, \quad \underset{when}{kun} \quad t \leq j$$

$$z_{j-t+1}^{o} = 0, \quad \underset{when}{kun} \quad j \leq t-1$$

$$\bar{z}_p^{t-j+p} = 0, \quad \underset{when}{kun} \quad t \leq j-p$$

8) $zz_j^t \geq 0$ $\quad j = 1, 2, \ldots, T$; $t = 1, \ldots, I^1$

9) $\sum_{i=1}^{N} g_{ijk} \cdot X_{ij} \leq g \cdot \sum_{t=1}^{I^1} uu_j^t$ $\quad j = 1, 2, \ldots, T$; $k = 1, 2, \ldots, n$

$$uu_j^t = u_o^{t-j}\, u_{j-t+1}^{o} - \sum_{p=1}^{j-1} \bar{u}_p^{t-j+p}$$

missä
where

$$u_o^{t-j} = 0, \quad \underset{when}{kun} \quad t \leq j$$

$$u_{j-t+1}^{o} = 0, \quad \underset{when}{kun} \quad j \leq t-1$$

$$\bar{u}_p^{t-j+p} = 0, \quad \underset{when}{kun} \quad t \leq j-p$$

10) $uu_j^t \geq 0$ $\quad j = 1, 2, \ldots, T$; $t = 1, \ldots, I^2$

11) $\sum_{i=1}^{N} b_{ijk} \cdot X_{ij} \leq b - \sum_{p=1}^{j} \bar{a} \cdot z_p^o + \sum_{p=1}^{j-1} \sum_{t=1}^{I^1} \bar{a} \cdot \bar{z}_p^t - \sum_{p=1}^{j} \bar{g} \cdot u_p^o + \sum_{p=1}^{j-1} \sum_{t=1}^{I^2} \bar{g} \cdot \bar{u}_p^t + h_j$ $\quad j = 1, 2, \ldots, T$; $k = 1, 2, \ldots, n$

12) $b + \sum_{t=1}^{I^1} \bar{a} \cdot zz_j^t + \sum_{t=1}^{I^2} \bar{g} \cdot uu_j^t \leq B + hj$ $\quad j = 1, 2, \ldots, T$

13) $h_j \leq H_j$ $\quad j = 1, 2, \ldots, T$

14) $\sum_{i=1}^{N} c_{ijk} \cdot X_{ij} \leq c_o + \sum_{p=1}^{j} \bar{c} \cdot c_p$ $\quad j = 1, 2, \ldots, T$; $k = 1, 2, \ldots, n$

15) $\sum_{i=1}^{N} e_{ijk} \cdot X_{ij} \leq e_k \cdot \sum_{t=1}^{I^2} tt_j^t + e_k \cdot t_{jk}$ $\quad j = 1, 2, \ldots, T$; $k = 1, 2, \ldots, n$

$$tt_j^t = t_o^{t-j} + t_{j-t+1}^{o} - \sum_{p=1}^{j-1} \bar{t}_p^{t-j+p}$$

missä
where

$t_o^{t-j} = 0$, kun *when* $t \leq j$

$t_{j-t+1}^{o} = 0$, kun *when* $j \leq t$

$\bar{t}_p^{t-j+p} = 0$, kun *when* $t \leq j-p$

16) $tt_j^t \geq 0$ $\quad j = 1, 2, \ldots, T$; $t = 1, \ldots, I^3$

17) $\bar{\bar{t}}_{jk} \leq T_{jk}$ $\quad j = 1, 2, \ldots, T$; $k = 1, 2, \ldots, n$

18) $\sum_{t=1}^{I^2} t_o^t \leq \sum_{t=1}^{I^3} tt_T^t$

19) $zz_j^t = 0$ $\quad j = 1, 2, \ldots, T$; $t > I^1$

$uu_j^t = 0$, $t > I^2$

$tt_j^t = 0$, $t > I^3$

20) $l_j^k \leq L_j^k$ $\quad j = 1, 2, \ldots, T$

21) $\sum_k \sum_{j=\max\{1,\, i-k+1\}}^{i} l_j^k - \sum_k \sum_{j=\max\{1,\, i-k+1\}}^{i-1} (i-j) \cdot l_j^k/k \leq \bar{L}_i$, $i = 1, 2, \ldots, T$

22) $l_1^{k_1-t_1} = l(k_1-t_1)/k_1$

23) $\sum_{j=1}^{m} (1+\beta)^{m+1-j} \left\{ \sum_{i=1}^{N} p_{ij} \cdot Y_{ij} + \sum_k l_j^k + \sum_{t=1}^{I^3} \hat{t}_j^t \cdot \bar{\bar{t}}_j^t - \sum_k \sum_{i=\max\{1,\, j-k+1\}}^{j} l_i^k/k - \right.$

$\left. \sum_k \left\{ d\left[\sum_{i=\max\{1,\, j-k+1\}}^{j} l_i^k - \sum_{i=\max\{1,\, j-k+1\}}^{i-j} (j-i) \cdot l_i^k/k \right] \right\} - s_j - \sum_{i=1}^{n} t_{ij} \cdot \bar{\bar{t}}_{ij} - \sum_{i=1}^{N} r_{ij} \cdot X_{ij} - \right.$

$\left. z_j^o \cdot \hat{z}_j - u_j^o \cdot \hat{u}_j - c_j \cdot \hat{c}_j - t_j^o \cdot \hat{t}_j - h_j \cdot \hat{h}_j - V_j \right\} + (1+\beta)^m \cdot V_o \geq 0$, $m = 1, 2, \ldots, T$

Kaikkien muuttujien oltava ei-negatiivisia
All variables must be non-negative

Liite 3. Tässä liitteessä on esitetty mallin lähtötiedot niiltä osin kun ne eivät ole aiemmin tekstissä esiintyneet. Tuotantovaiheittaiset kapasiteetti- ja raaka-ainetarpeet on estimoitu otannalla Suonenjoen taimitarhalla kesällä 1975. Muiden lähtötietojen laskentaperusteet selviävät tekstistä.

Appendix 3. This section contains the model data not presented earlier in the text. The capacities and raw-material requirements have been estimated through sampling in the Suonenjoki nursery in the summer 1975. The computation model for producing the model data are explained in the text.

Taulukko 1. Kuusen taimien muuttuvat viljelykustannukset r_{ij} tuotantovaiheittain vuosina 1973—1975 (mk/1 000 tainta) Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla sekä niiden minimi-, keski- ja maksimiarvojen ennusteet vuosille 1976—1980

Table 1. The variable costs r_{ij} of raising Norway Spruce **(Picea abies)** *plants in 1973—1975 at the Forest Research Institute's nursery in Suonenjoki. The figures are arranged according to the various production stages and the unit is Fmk/1 000 plants. The predicted minimum, mean and maximum values for the same are also given for the years 1976—1980*

Tuotantovaihe [1] *Stage of production* [1]			Vuosi — *Year*							
			1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
M			13,7	16,4	22,3	22,3 28,1 31,4	28,1 32,7 35,3	32,7 36,1 38,1	36,1 38,4 39,9	38,4 40,0 40,9
A			7,3	8,1	10,0	10,0 11,8 13,0	11,8 13,2 14,0	13,2 14,2 14,8	14,2 14,9 15,3	14,9 15,3 15,6
a			3,8	4,7	5,7	5,7 6,5 6,9	6,5 7,1 7,5	7,1 7,6 7,8	7,6 7,8 8,0	7,8 8,0 8,1
ar			3,5	4,4	5,3	5,3 6,0 6,4	6,0 6,5 6,8	6,5 6,9 7,1	6,9 7,1 7,3	7,1 7,3 7,4
Koulintatoimet *Transplanting phases*	Kasvupaikalta *From seedbeds*	Konekoulinta *Mechanised transplanting*	11,6	14,3	16,9	16,9 18,9 20,0	18,9 20,4 21,2	20,4 21,4 22,0	21,4 22,0 22,4	22,0 22,4 22,6
		Rullakoulinta *Roll transplanting*	29,4	36,7	46,2	46,2 54,5 58,2	54,5 60,8 64,3	60,8 65,2 67,8	65,2 68,1 69,9	68,1 69,9 71,1
	Valeistutuksesta *From healedin beds*	Konekoulinta *Mechanised transplanting*	6,6	8,3	9,9	9,9 11,2 11,8	11,2 12,0 12,6	12,0 12,6 13,0	12,6 13,0 13,3	13,0 13,3 13,4
		Rullakoulinta *Roll transplanting*	24,5	30,7	39,2	39,2 46,7 50,1	46,7 52,5 55,7	52,5 56,6 59,0	56,6 59,3 61,0	59,3 61,0 62,1
	Kylmävarastosta *From cold storage*	Konekoulinta *Mechanised transplanting*	6,5	8,1	9,7	9,7 11,0 11,6	11,0 11,9 12,4	11,9 12,5 12,9	12,5 12,9 13,2	12,9 13,2 13,3
		Rullakoulinta *Roll transplanting*	24,3	30,5	39,0	39,0 46,5 49,9	46,5 52,3 55,5	52,3 56,4 58,8	56,4 59,1 60,8	59,2 60,8 61,9
Syksyn toimenpiteet *Autumn jobs*	Koulittavat taimet *Plants to be transplanted*	Paikalleenjättö *Undisturbed*	0,2	0,2	0,2	0,2 0,3 0,3	0,3 0,3 0,3	0,3 0,3 0,3	0,3 0,3 0,3	0,3 0,3 0,3
		Valeistutus *Heeling-in*	5,2	6,5	7,3	7,3 7,8 8,2	7,8 8,1 8,3	8,1 8,3 8,4	8,3 8,4 8,5	8,4 8,5 8,5
		Kylmävarastointi *Cold storage*	5,6	6,9	8,0	8,0 8,8 9,3	8,8 9,4 9,7	9,4 9,8 10,0	9,8 10,0 10,1	10,0 10,1 10,2
	Myytävät taimet *Plants to be sold*	Paikalleenjättö *Undisturbed*	0,2	0,2	0,2	0,2 0,3 0,3	0,3 0,3 0,3	0,3 0,3 0,3	0,3 0,3 0,3	0,3 0,3 0,3
		Valeistutus *Heeling-in*	9,8	12,3	14,1	14,1 15,3 16,2	15,3 16,2 16,7	16,2 16,7 17,0	16,7 17,0 17,2	17,0 17,2 17,3
		Kylmävarastointi *Cold storage*	15,9	19,1	21,7	21,7 23,6 24,7	23,6 24,9 25,6	24,9 25,7 26,2	25,7 26,2 26,5	26,2 26,5 26,7
Taimien myynti *Plant sales*	Kasvupaikalta *From seedbeds*		17,2	20,9	23,9	23,9 26,1 27,3	26,1 27,6 28,5	27,6 28,5 29,1	28,5 29,1 29,5	29,1 29,5 29,7
	Valeistutuksesta *From heeled-in beds*		8,2	9,5	10,9	10,9 12,0 12,5	12,0 12,8 13,3	12,8 13,4 13,7	13,4 13,7 13,9	13,7 13,9 14,1
	Kylmävarastosta *From cold storage*		0,3	0,3	0,4	0,4 0,5 0,6	0,4 0,6 0,6	0,6 0,7 0,7	0,7 0,7 0,7	0,7 0,7 0,8

[1]) Kts. liite 1. — [1]) *See appendix 1.*

Taulukko 2. Kuusen taimien viljelyn työmenekki ja tarvittava traktorikapasiteetti (tuntia/1 000 tainta) tuotantovaiheittain eri kasvatusvaiheissa k (k = 1, 2, 3, 4) Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla v. 1975 [1])

Table 2. Labour consumption and tractor employment (hrs/1 000 plants) in raising Norway Spruce (Picea abies) plants at various stages of production k, (k = 1, 2, 3, 4). The Forest Research Institute's nursery in Suonenjoki in 1975 [1])

Tuotantovaihe [2]) *Stage of production* [2])			Työmenekki w_{ijk} (tuntia/1 000 tainta) *Labour consumption (hrs/1 000 plants)*				Tarvittava traktorikapasiteetti e_{ijk} (tuntia/1 000 tainta) *Tractor employment (hrs/1 000 plants)*			
			1	2	3	4	1	2	3	4
M			0,22	1,07			0,01			
A			0,10	0,45			0,01			
a				0,53				0,03		
ar				0,58				0,20		
Koulintatoimet *Transplanting phases*	Kasvupaikalta *From seedbeds*	Konekoulinta *Mechanised transplanting*	1,83		1,83		0,14		0,14	
		Rullakoulinta *Roll transplanting*	3,83		3,83		0,41		0,41	
	Valeistutuksesta *From heeled-in beds*	Konekoulinta *Mechanised transplanting*	1,07		1,07		0,14		0,14	
		Rullakoulinta *Roll transplanting*	3,08		3,08		0,41		0,41	
	Kylmävarastosta *From cold storage*	Konekoulinta *Mechanised transplanting*	1,05		1,05		0,14		0,14	
		Rullakoulinta *Roll transplanting*	3,05		3,05		0,41		0,41	
Syksyn toimenpiteet *Autumn jobs*	Koulittavat taimet *Plants to be transplanted*	Paikalleenjättö *Undisturbed*			0,01				0,01	
		Valeistutus *Heeling-in*			0,76				0,01	
		Kylmävarastointi *Cold storage*			0,81				0,03	
	Myytävät taimet *Plants to be sold*	Paikalleenjättö *Undisturbed*			0,01				0,01	
		Valeistutus *Heeling-in*			1,48				0,01	
		Kylmävarastointi *Cold storage*			1,66				0,03	
Taimien myynti *Plant sales*	Kasvupaikalta *From seedbeds*		2,03		2,03		0,01		0,01	
	Valeistutuksesta *From heeled-in beds*		0,66		0,66		0,01		0,01	
	Kylmävarastosta *From cold storage*		0,04		0,04		0,01		0,01	

[1]) Sekä koulintatoimen että taimen myynnin kohdalla on työmenekki ja tarvittava traktorikapasiteetti ilmoitettu kasvatusvaiheessa 1 ja 3. Nämä vastaavat koulintaa keväällä tai syksyllä ja vastaavasti myyntiä keväällä tai syksyllä. Näin ollen riippuu taimen tuotantoketjusta, kummassa kasvatusvaiheessa kyseinen työmenekki ja traktorikapasiteetti otetaan malliin.

[1]) *For both »transplanting phases» and »plant sales» labour consumption and tractor employment are shown for the raising stages 1 and 3. These are the equivalent of spring or autumn transplanting and of spring or autumn plant sales. Thus the method of production determines the raising stage and the respective labour consumption and tractor employment figures for the model.*

[2]) Kts. liite 1. — [2]) *See appendix 1.*

Taulukko 3. Männyn taimien muuttuvat viljelykustannukset r_{ij} tuotantovaiheittain vuosina 1973—1975 (mk/1 000 tainta) Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla sekä niiden minimi-, keski- ja maksimiarvojen ennusteet vuosille 1976—1980

Table 3. The variable costs r_{ij} of raising Scots Pine **(Pinus silvestris)** *plants in 1973—1975 at the Forest Research Institute's nursery in Suonenjoki. The figures are arranged according to the various production stages and the unit used is Fmk/1 000 plants. The predicted minimum, mean and maximum values for the same are also given for the years 1976—1980*

Tuotantovaihe [1]) *Stage of production* [1])			Vuosi — *Year* 1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
M			13,7	16,7	21,7	21,7 26,3 28,7	26,3 29,9 31,9	29,9 32,5 34,1	32,5 34,3 35,3	34,3 35,4 36,1
A			10,1	11,6	13,5	13,5 15,1 15,8	15,1 16,3 16,9	16,3 17,1 17,5	17,1 17,6 17,9	17,6 17,9 18,1
a			3,1	3,9	5,3	5,3 6,6 7,3	6,6 7,7 8,3	7,7 8,5 8,9	8,5 9,0 9,3	9,0 9,3 9,5
ar			2,6	3,3	4,0	4,0 4,6 4,8	4,6 5,0 5,2	5,0 5,2 5,4	5,2 5,4 5,5	5,4 5,5 5,6
Mk			28,8	30,7	40,2	40,2 50,0 57,3	50,0 57,9 62,1	57,9 63,8 67,2	63,8 67,8 70,2	67,8 70,4 72,1
Lk			29,8	31,8	41,5	41,5 51,4 58,9	51,4 59,5 63,8	59,5 65,5 69,9	65,5 69,6 72,0	69,6 72,2 73,9
Mt			15,6	21,8	27,2	27,2 31,4 33,9	31,4 34,4 36,2	34,4 36,4 37,7	36,4 37,7 38,5	37,7 38,5 39,1
Lt			15,6	21,8	27,2	27,2 31,4 33,9	31,4 34,4 36,2	34,4 36,4 37,7	36,4 37,7 38,5	37,7 38,5 39,1
Koulintatoimet *Transplanting phases*	Kasvupaikalta *From seedbeds*	Konekoulinta *Mechanised transplanting*	10,2	12,7	15,2	15,2 17,2 18,2	17,2 18,6 19,5	18,6 19,6 20,2	19,6 20,2 20,6	20,2 20,6 20,9
		Rullakoulinta *Roll transplanting*	16,9	21,0	26,4	26,4 31,1 33,2	31,1 34,7 36,7	34,7 37,2 38,7	37,2 38,9 39,9	38,9 39,9 40,6
	Valeistutuksesta *From heeled-in beds*	Konekoulinta *Mechanised transplanting*	5,1	6,5	7,8	7,8 8,8 9,4	8,8 9,5 10,0	9,5 10,0 10,3	10,0 10,3 10,5	10,3 10,5 10,7
		Rullakoulinta *Roll transplanting*	12,0	14,7	19,1	19,1 23,2 25,2	23,2 26,3 28,1	26,3 28,6 29,9	28,6 30,1 31,0	30,1 31,1 31,7

(jatkuu seur. siv. — *continues on next page*)

				1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Syksyn toimenpiteet *Autumn jobs*	Kylmävarastosta *From cold storage*		Konekoulinta *Mechanised transplanting*	4,9	6,1	7,0	7,0 7,6 8,0	7,6 8,1 8,3	8,1 8,3 8,5	8,3 8,5 8,6	8,5 8,6 8,7
			Rullakoulinta *Roll transplanting*	11,7	14,4	18,5	18,5 22,2 24,0	22,2 25,1 26,7	25,1 27,1 28,3	27,1 28,5 29,3	28,5 29,4 29,9
	Koulittavat taimet *Plants to be transplanted*		Paikallaanjättö *Undisturbed*	0,5	0,6	0,8	0,8 1,0 1,1	1,0 1,1 1,2	1,1 1,3 1,3	1,3 1,3 1,4	1,3 1,4 1,4
			Valeistutus *Heeling-in*	5,4	6,8	8,1	8,1 9,1 9,6	9,1 9,8 10,3	9,8 10,3 10,6	10,3 10,6 10,8	10,6 10,8 10,9
			Kylmävarastointi *Cold storage*	5,8	7,2	8,7	8,7 9,9 10,5	9,9 10,8 11,3	10,8 11,4 11,8	11,4 11,8 12,1	11,8 12,1 12,2
	Myytävät taimet *Plants to be sold*		Paikalleenjättö *Undisturbed*	0,5	0,6	0,8	0,8 1,0 1,1	1,0 1,1 1,2	1,1 1,3 1,3	1,3 1,3 1,4	1,3 1,4 1,4
			Valeistutus *Heeling-in*	5,8	7,2	8,6	8,6 9,7 10,3	9,7 10,5 11,0	10,5 11,1 11,4	11,1 11,4 11,6	11,4 11,6 11,8
		Kylmävarastointi *Cold storage*	Paljasjuuriset *Bare rooted plants*	7,9	9,7	12,0	12,0 14,0 14,8	14,0 15,5 16,3	15,5 16,5 17,1	16,5 17,2 17,6	17,2 17,6 17,9
			Rullataimet *Roll plants*	8,8	11,0	13,7	13,7 16,0 17,1	16,0 17,8 18,7	17,8 19,0 19,7	19,0 19,8 20,2	19,8 20,3 20,6
			Paakkutaimet *Ball rooted plants*	8,9	11,1	13,3	13,3 15,1 15,9	15,1 16,3 17,1	16,3 17,2 17,7	17,1 17,7 18,1	17,7 18,1 18,3
Taimen myynti *Plant sales*	Kasvupaikalta *From seedbeds*		Paljasjuuriset *Bare rooted plants*	7,4	9,1	11,2	11,2 13,0 13,8	13,0 14,3 15,1	14,3 15,3 15,8	15,3 15,9 16,3	15,9 16,3 16,5
			Rullataimet *Roll plants*	8,2	10,3	12,8	12,8 14,9 15,9	14,9 16,5 17,4	16,5 17,6 18,3	17,6 18,8 18,8	18,3 18,8 19,1
			Paakkutaimet *Ball rooted plants*	8,3	10,5	12,5	12,5 14,0 14,9	14,0 15,1 15,8	15,1 15,9 16,3	15,9 16,3 16,6	16,8 16,6 16,8
	Valeistutuksesta *From heeled-in beds*		Paljasjuuriset *Bare rooted plants*	0,1	2,5	2,8	2,8 3,0 3,1	3,0 3,1 3,2	3,1 3,2 3,3	3,2 3,3 3,3	3,3 3,3 3,3
			Rullataimet *Roll plants*	3,0	3,7	4,4	4,4 5,0 5,2	5,0 5,4 5,6	5,4 5,6 5,8	5,6 5,8 5,9	5,8 5,9 6,0
			Paakkutaimet *Ball rooted plants*	8,3	10,5	12,5	12,5 14,0 14,9	14,0 15,1 15,8	15,1 15,9 16,3	15,9 16,3 16,6	16,3 16.6 16,8
	Kylmävarastosta *From cold storage*			0,2	0,2	0,3	0,3 0,4 0,5	0,4 0,5 0,6	0,5 0,6 0,6	0,6 0,6 0,7	0,6 0,7 0,7

[1]) Kts. liite 1.
[1]) *See appendix 1.*

Taulukko 4. Männyn taimien viljelyn työmenekki ja tarvittava traktorikapasiteetti (tuntia/1 000 tainta) tuotantovaiheittain eri kasvatusvaiheissa k (k = 1, 2, 3, 4) Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla v. 1975 [1])

Table 4. Labour consumption and tractor employment (hrs/1 000 plants) in raising Scots Pine ***(Pinus silvestris)*** *plants at various stages of production k, (k = 1, 2, 3, 4). The Forest Research Institute's nursery in Suonenjoki in 1975* [1])

Tuotantovaihe [2]) *Stage of production* [2])			Työmenekki wijk (tuntia/1 000 tainta) *Labour consumption (hrs/1 000 plants)*				Tarvittava traktorikapasiteetti eijk (tuntia/1 000 tainta) *Tractor employment (hrs/1 000 plants)*			
			1	2	3	4	1	2	3	4
M			0,26	1,02			0,01			
A			0,18	0,44						
a				0,46				0,01		
ar				0,46				0,01		
Mk			0,14	1,00	0,31					
Lk			0,14	1,01	0,31					
Mt			0,14	1,01	0,31					
Lt			0,14	0,99	0,31					
Koulintatoimet *Transplanting phases*	Kasvupaikalta *From seedbeds*	Konekoulinta *Mechanised transplanting*	1,57		1,57		0,13		0,13	
		Rullakoulinta *Roll transplanting*	2,41		2,41		0,24		0,24	
	Valeistutuksesta *From beele-in beds*	Konekoulinta *Mechanised transplanting*	0,82		0,82		0,13		0,13	
		Rullakoulinta *Roll transplanting*	1,67		1,67		0,24		0,24	

(jatkuu seur. siv. — *continues on next page*)

[1]) Sekä koulintatoimen että taimen myynnin kohdalla on työmenekki ja tarvittava traktorikapasiteetti ilmoitettu kasvatusvaiheessa 1 ja 3. Nämä vastaavat koulintaa keväällä tai syksyllä ja vastaavasti myyntiä keväällä tai syksyllä. Näin ollen riippuu taimen tuotantoketjusta, kummassa kasvatusvaiheessa kyseinen työmenekki ja traktorikapasiteetti otetaan malliin.

[1]) *For both »transplanting phases» and »plant sales» labour consumption and tractor employment are shown for the raising stages 1 and 3. These are the equivalent of spring or autumn transplanting and of spring or autumn plant sales. Thus the method of production determines the raising stage and the respective labour consumption and tractor employment figures for the model.*

				1	2	3	4	1	2	3	4
Syksyn toimenpiteet *Autumn jobs*	Kylmävarastosta *From cold storage*	Konekoulinta *Mechanised transplanting*		0,78		0,78		0,11		0,11	
		Rullakoulinta *Roll transplanting*		1,63		1,63		0,22		0,22	
	Koulittavat taimet *Plants to be transplanted*	Paikalleenjättö *Undisturbed*				0,08					
		Valeistutus *Heeling-in*				0,82					
		Kylmävarastointi *Cold storage*				0,88				0,02	
	Myytävät taimet *Plants to be sold*	Paikalleenjättö *Undisturbed*				0,08					
		Valeistutus *Heeling-in*				0,96					
		Kylmävarastointi *Cold storage*	Paljasjuuriset *Bare rooted plants*			1,09				0,02	
			Rullataimet *Roll plants*			1,47				0,02	
			Paakkutaimet *Ball rooted plants*			1,61				0,02	
Taimen myynti *Plant sales*	Kasvupaikalta *From seedbeds*	Paljasjuuriset *Bare rooted plants*		1,01		1,01		0,02		0,02	
		Rullataimet *Roll plants*		1,39		1,39		0,02		0,02	
		Paakkutaimet *Ball rooted plants*		1,52		1,52		0,02		0,02	
	Valeistutuksesta *From heeled-in beds*	Paljasjuuriset *Bare rooted plants*		0,12		0,12		0,02		0,02	
		Rullataimet *Roll plants*		0,51		0,51		0,02		0,02	
		Paakkutaimet *Ball rooted plants*		1,53		1,53		0,02		0,02	
	Kylmävarastosta *From cold storage*			0,03		0,03		0,02		0,02	

[1]) Kts. liite 1.
[1]) *See appendix 1.*

Taulukko 5. Rauduskoivun taimien muuttuvat viljelykustannukset r_{ij} tuotantovaiheittain vuosina 1973—1975 (mk/1 000 tainta) Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla sekä niiden minimi-, keski- ja maksimiarvojen ennusteet vuosille 1976—1980

Table 5. The variable costs r_{ij} of raising Silver Birch ***(Betula verrucosa)*** *plants in 1973—1975 at the Forest Research Institute's nursery in Suonenjoki. The figures are arranged according to the various production stages and the unit used Fmk/1 000 plants. The predicted minimum, mean and maximum values for the same are also given for the years 1976—1980*

Tuotantovaihe [2]) *Stage of production* [2])				Vuosi — *Year*					
			1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
M			30,3	36,4	52,5	52,5 68,9 78,6	68,9 82,5 90,3	82,5 92,6 98,8	92,6 99,7 104,1	99,7 104,4 107,4
A			9,4	11,7	14,3	14,3 16,5 17,5	16,5 18,1 19,0	18,1 19,2 19,8	19,2 19,9 20,3	19,9 20,3 20,6
a			20,6	24,5	29,1	29,1 32,9 34,6	32,9 35,8 37,3	35,8 37,7 38,8	37,7 38,9 39,7	38,9 39,7 40,2
Lk			24,6	29,7	36,8	36,8 43,0 45,9	43,0 47,8 50,4	47,8 51,1 53,1	51,1 53,3 54,6	53,3 54,7 55,5
(Lk + a)			30,2	36,6	45,0	45,0 52,3 55,4	52,3 57,8 60,7	57,8 61,1 63,8	61,6 64,1 65,6	64,1 65,6 66.6
Koulintatoimet *Transplanting phases (mechanised)*	Kasvupaikalta *From seedbeds*		23,4	29,1	34,8	34,8 39,4 41,6	39,4 42,6 44,5	42,6 44,8 46,2	44,8 46,3 47,2	46,3 47,1 47,7
	Valeistutuksesta *From heeled-in beds*		19,5	24,3	29,1	29,1 32,9 34,8	32,9 35,7 37,3	35,7 37,6 38,7	37,6 38,8 39,5	38,8 39,5 40,0
	Kylmävarastosta *From cold storage*		19,3	24,0	28,7	28,7 32,5 34,3	32,5 35,2 36,7	35,2 37,0 38,1	37,0 38,1 38,9	38,1 38,9 39,4
Syksyn toimenpiteet *Autum jobs* — Koulittavat taimet *Plants to be transplanted*	Paikalleenjättö *Undisturbed*		0,3	0,3	0,4	0,4 0,5 0,6	0,5 0,6 0,6	0,6 0,7 0,7	0,7 0,7 0,7	0,7 0,7 0,8
	Valeistutus *Heeling-in*		4,1	5,2	6,1	6,1 6,8 7,2	6,8 7,2 7,5	7,2 7,5 7,7	7,5 7,7 7,8	7,7 7,8 7,9
	Kylmävarastointi *Cold storage*		4,4	5,5	6,5	6,5 7,3 7,7	7,3 7,8 8,1	7,8 8,2 8,4	8,2 8,4 8,6	8,4 8,5 8,6
Myytävät taimet *Plants to be sold*	Paikalleenjättö *Undisturbed*		0,3	0,3	0,4	0,4 0,5 0,6	0,5 0,6 0,6	0,6 0,7 0,7	0,7 0,7 0,7	0,7 0,7 0,8
	Valeistutus *Heeling-in*	Paljasjuuriset *Bare rooted plants*	9,4	11,8	14,0	14,0 15,7 16,6	15,7 16,9 17,6	16,9 17,7 18,2	17,7 18,2 28,5	18,2 18,5 18,7
		Kennotaimet *Containerised plants*	9,4	11,7	14,0	14,0 15,8 16,8	15,8 17,2 17,9	17,2 18,1 18,6	18,1 18,6 19,0	18,6 19,0 19,2
	Kylmävarasto *Cold storage*	Paljasjuuriset *Bare rooted plants*	19,1	22,7	26,1	26,1 28,7 30,0	28,7 30,6 31,6	30,6 31,8 32,5	31,8 32,6 33,1	32,6 33,0 33,3
		Kennotaimet *Containerised plants*	18,4	22,2	25,8	25,8 28,6 30,0	28,6 30,6 31,7	30,6 31,9 32,7	31,9 32,7 33,2	32,7 33,2 35,6

(jatkuu seur. siv. — *continues on next page*)

			1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Taimen myynti *Plant sales*	Kasvupaikalta *From seedbeds*	Paljasjuuriset *Bare rooted plants*	19,6	23,3	26,9	26,9	29,7	31,7	33,0	33,9
						29,7	31,7	33,0	33,9	34,4
						31,1	32,8	33,8	34,4	34,7
		Kennotaimet *Containerised plants*	18,9	22,8	26,5	26,5	29,4	31,4	32,7	33,6
						29,4	31,4	32,7	33,6	34,1
						30,8	32,6	33,6	34,1	34,5
	Valeistutuksesta *From heeled-in beds*	Paljasjuuriset *Bare rooted plants*	10,4	11,8	13,3	13,3	14,5	15,3	15,9	16,3
						14,5	15,3	15,9	16,3	16,5
						15,0	15,8	16,2	16,5	16,6
		Kennotaimet *Containerised plants*	9,9	11,4	13,0	13,0	14,3	15,2	15,8	16,2
						14,3	15,2	15,8	16,2	16,4
						14,8	15,7	16,2	16,4	16,6
	Kylmävarastoista *From cold storage*		0,9	1,1	1,4	1,4	1,7	1,9	2,0	2,1
						1,7	1,9	2,0	2,1	2,2
						1,8	2,0	2,1	2,2	2,2

[2]) Kts. liite 1.
[2]) *See appendix 1.*

Taulukko 6. Rauduskoivun taimien viljelyn työmenekki ja tarvittava traktorikapasiteetti (tuntia/1 000 tainta) tuotantovaiheittain eri kasvatusvaiheissa k (k = 1, 2, 3, 4) Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla v. 1975 [1])

Table 6. Labour consumption and tractor employment (hrs/1 000 plants) in raising Silver Birch ***(Betula verrucosa)*** *plants at various stages of production k, (k = 1, 2, 3, 4). The Forest Institute's nursery in Suonenjoki in 1975* [1])

Tuotantovaihe [2]) *Stage of production* [2])				Työmenekki w_{ijk} (tuntia/1 000 tainta) *Labour consumption (hrs/1 000 plants*				Tarvittava traktorikapasiteetti e_{ijk} (tuntia/1 000 tainta) *Tractor employment (hrs/1 000 plants)*			
				1	2	3	4	1	2	3	4
M				1,05	1,09	0,22		0,06	0,17		
A				0,69	0,44	0,05		0,02			
a					0,67				0,02		
Lk				0,21	2,84				0,01		
(Lk + a)				0,21	3,69				0,18		
Koulintatoimet *Transplanting phases (mechanised)*		Kasvupaikalta *From seedbeds*		3,70		3,70		0,43		0,43	
		Valeistutuksesta *From heeled-in beds*		3,12		3,12		0,43		0,43	
		Kylmävarastosta *From cold storage*		3,08		3,08		0,41		0,41	
Syksyn toimenpiteet *Autum jobs*	Koulittavat taimet *Plants to be transplanted*	Paikalleenjättö *Undisturbed*				0,03					
		Valeistutus *Heeling-in*				0,61					
		Kylmävarastointi *Cold storage*				0,64				0,01	
	Myytävät taimet *Plants to be sold*	Paikalleenjättö *Undisturbed*				0,03					
		Valeistutus *Heeling-in*	Paljasjuuriset *Bare rooted plants*			1,60					
			Kennotaimet *Containerised plants*			1,39				0,40	
		Kylmävarasto *Cold storage*	Paljasjuuriset *Bare rooted plants*			2,01				0,01	
			Kennotaimet *Containerised plants*			2,02				0,06	

(jatkuu seur. siv. — *continues on next page*)

			1	2	3	4	1	2	3	4
Taimen myynti *Plant sales*	Kasvupaikalta *From seedbeds*	Paljasjuuriset *Bare rooted plants*	2,05		2,05		0,08		0,08	
		Kennotaimet *Containerised plants*	2,05		2,05		0,12		0,12	
	Valeistutuksesta *From heeled-in beds*	Paljasjuuriset *Bare rooted plants*	0,48		0,48		0,08		0,08	
		Kennotaimet *Containerised plants*	0,69		0,69		0,08		0,08	
	Kylmävarastoista *From cold storage*		0,08		0,08		0,08		0,08	

[1]) Sekä koulintatoimen että taimen myynnin kohdalla on työmenekki ja tarvittava traktorikapasiteetti ilmoitettu kasvatusvaiheessa 1 ja 3. Nämä vastaavat koulintaa keväällä tai syksyllä ja vastaavasti myyntiä keväällä tai syksyllä. Näin ollen riippuu taimen tuotantoketjusta, kummassa kasvatusvaiheessa kyseinen työmenekki ja traktorikapasiteetti otetaan malliin.

[1]) *For both »transplanting phases» and »plant sales» labour consumption and tractor employment are shown for the raising stages 1 and 3. These are the equivalent of spring or autumn transplanting and of spring or autumn plant sales. Thus the method of production determines the raising stage and the respective labour consumption and tractor employment figures for the model.*

[2]) Kts. liite 1.

[2]) *See appendix 1.*

Taulukko 7. Vaaditut muovihuone- ja avomaa-alat (m^2/1 000 tainta) ja kylmähuonetila (m^3/1 000 tainta) puu- ja taimilajeittain eri kasvatusvaiheissa k (k = 1, 2, 3, 4) Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla v. 1975.[1]) Pinta-alat ovat tehopinta-aloja

Table 7. The area required for plants at the Forest Research Institute's nursery in Suonenjoki in 1975.[1]) The figures given are arranged according to tree species and plant types at various stages of raising k, (k = 1, 2, 3, 4). For plastic greenhouses and open ground the unit is m^2/1 000 plants and for cold-storage m^3/1 000 plants

Puu- ja taimilaji *Tree species and plant types*	Vaadittu kesämuovihuoneala a_{ijk} (m^2/1 000 tainta) *Plasti greenhouse area a_{ijk} required during summer (m^2/1 000 plants)*				Vaadittu lämmitettävän muovihuoneen ala g_{ijk} (m^2/1 000 taintn) *Heatable plastic greenhouse area g_{ijk} required (m^2/1 000 plants)*				Vaadittu avomaa-ala b_{ijk} (m^2/1 000 tainta) *Open ground area b_{ijk} required (m^2/1 000 plants)*				Vaadittu kylmähuonetila c_{ijk} (m^3/1 000 tainta) *Volume of cold storage c_{ijk} required (m^3/1 000 plants)*			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
KU 1M	1,66	1,66	1,66												0,04	0,04
KU 2A									2,04	2,04	2,04				0,06	0,06
KU 2A + 2A									25,64	25,64	25,64				0,36	0,36
KU 1M + 2A									14,29	14,29	14,29				0,36	0,36
KU 1M + 2Ar									2,13	2,13	2,13				0,42	0,42
MÄ 1M	1,78	1,78	1,78												0,04	0,04
MÄ 2A									3,83	3,83	3,83				0,04	0,04
MÄ 1Lk					1,25	1,25	1,25								[1])	
MÄ 1Mk	0,94	0,94	0,94												[1])	
MÄ 1Lt					1,13	1,13	1,13								[1])	
MÄ 1Mt	1,13	1,13	1,13												[1])	
MÄ 1M + 1A									12,20	12,20	12,20				0,21	0,21
MÄ 1M + 1Ar									1,82	1,82	1,82				0,25	0,25
MÄ 2A + 1Ar									3,16	3,16	3,16				0,25	0,25
MÄ 1A × 1A									12,50	12,50	12,50				0,21	0,21
MÄ 2A × 1Ar									1,77	1,77	1,77				0,25	0,25
Rko 1M	10,00	10,00	10,00												0,06	0,06
Rko 1A									12,50	12,50	12,50				0,06	0,06
Rko 1A + 1A									71,43	71,43	71,43				1,00	[3]) 1,00
Rko 1M + 1A									58,82	58,82	58,82				1,12	[3]) 1,12
Rko 1(Lk + A)					1,24	1,24				22,73	22,73				1,00	[3]) 1,00
Rko 1Lk					1,24	1,24	1,24								[2])	

[1]) Avomaa- ja muovihuonealan tarve on kasvatusvaiheitten 3 ja 4 kohdalla jätetty avoimeksi, sillä se riippuu tuotantoketjun seuraavasta vaiheesta. Esimerkiksi syyskoulinnat vaativat syksyllä avomaalta koulinta-alaa. Siis »1Mx» tarvitsee kolmena ensimmäisenä kasvatusvaiheena muovihuonealaa ja lisäksi kahtena jälkimmäisenä koulinta-alaa avomaalta (vrt. Rko 1(Lk + A). Todettakoon lisäksi, että esim. 1M + 1A ja 1m × 1A vaativat toisena kasvatuskautena yhtä paljon tilaa. Näitä ei molempia ole merkitty taulukkoon.

[1]) *In the case of raising stages 3 and 4, the columns for plastic greenhouse and open ground requirements have no entries as such requirements are dependent on the stage of production to follow. To take an example, open ground is required for transplanting in the autumn; thus, »1Mx» requires plastic geenhouse space during raising stage 1, 2 and 3 and in addition during stages 3 and 4 it requires open ground space (cf. Rko 1(Lk + A) when transplanted).*

[2]) Ei varastoida. — *Not to be stored.*

[3]) Keskiarvo; riippuu taimityypistä. — *Mean value depending on plant type.*

Taulukko 8. Eräiden valtion tuella suoritetuissa tai lakisääteisissä metsänviljelytöissä käytettävien taimilajien enimmäishinnat p_{ij} (mk/1 000 tainta) vuosina 1973—1975 sekä niiden minimi-, keski- ja maksimihintojen ennusteet vuosille 1976—1980

Table 8. The maximum prices p_{ij} (Fmk/1 000 plants) in 1973—1975 (packaging excluded) for certain plant types used in artificial regeneration subsidised by the government or decreed by law. Also the predicted minimum, mean and maximum prices for the same for the years 1976—1980

Puu- ja taimilaji *Tree species and plant types*	Vuosi — *Year*							
	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
MÄ 1M	24,0	29,0	37,0	37,0 44,0 48,0	44,0 50,0 53,0	50,0 54,0 56,0	54,0 57,0 58,0	57,0 58,0 59,0
MÄ 1M + 1A	85,0	102,0	144,0	144,0 186,0 211,0	186,0 221,0 240,0	221,0 246,0 262,0	246,0 264,0 275,0	264,0 276,0 283,0
MÄ 1M + 1A	85,0	102,0	144,0	144,0 186,0 211,0	186,0 221,0 240,0	221,0 246,0 262,0	246,0 264,0 275,0	264,0 276,0 283,0
MÄ 1Lk	64,0	70,0	120,0	120,0 177,0 214,0	177,0 229,0 262,0	229,0 270,0 296,0	270,0 301,0 319,0	301,0 321,0 334,0
KU 1M	24,0	28,0	34,0	34,0 39,0 42,0	39,0 43,0 45,0	43,0 46,0 48,0	46,0 48,0 49,0	48,0 49,0 50,0
KU 2A	24,0	28,0	34,0	34,0 39,0 42,0	39,0 43,0 45,0	43,0 46,0 48,0	46,0 48,0 49,0	48,0 49,0 50,0
KU 1M + 1A	95,0	97,0	139,0	139,0 185,0 221,0	185,0 224,0 246,0	224,0 254,0 272,0	254,0 275,0 288,0	275,0 289,0 298,0
KU 2A × 1A	95,0	97,0	139,0	139,0 185,0 221,0	185,0 224,0 246,0	224,0 254,0 272,0	254,0 275,0 288,0	275,0 289,0 298,0
KU 2A × 2A	102,0	120,0	179,0	179,0 241,0 279,0	241,0 295,0 324,0	293,0 333,0 357,0	333,0 361,0 378,0	361,0 379,0 391,0
Rko 1(Lk + A)	136,0	181,0	331,0	331,0 501,0 605,0	501,0 655,0 758,0	655,0 778,0 856,0	778,0 869,0 925,0	869,0 932,0 971,0
Rko 1M + 1A	196,0	269,0	419,0	419,0 572,0 653,0	572,0 701,0 780,0	701,0 799,0 859,0	799,0 868,0 911,0	868,0 915,0 944,0
Rko 1A + 1A	190,0	250,0	400,0	400,0 558,0 640,0	558,0 693,0 777,0	695,0 797,0 861,0	797,0 872,0 917,0	872,0 922,0 953,0

Taulukko 9. Uusien (= 0 vuotta vanhojen) maataloustraktorien keskimääräiset myyntihinnat (mk) Suomessa vuosina 1973—1975 sekä 0—8 vuotta vanhojen traktorien minimi-, keski- ja maksimihintojen ennusteet vuosille 1976—1980

Table 9. The mean prices (Fmk) of predicted new (= zero years old) agricultural tractors in Finland in 1973—1975 and the minimum, mean and maximum prices for secondhand tractors (= 0 to 8 years old) for the years 1976—1980

Traktorin ikä vuosina *Tractor's age in years*	Vuosi — *Year*							
	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
0	35 500	44 300	[1]) 52 700	52 700 59 400 62 700	59 400 64 100 66 800	64 100 67 300 69 200	67 300 69 300 70 600	69 300 70 600 71 400
1				42 700 48 100 50 900	48 100 51 900 56 100	51 900 54 500 56 100	54 500 56 100 57 200	56 100 57 200 57 800
2				39 000 44 000 46 400	44 000 47 400 49 400	47 400 49 800 51 200	49 800 51 300 52 200	51 300 52 200 52 800
3				34 800 39 200 41 400	39 200 42 300 44 100	42 300 44 400 45 700	44 400 45 700 46 600	45 700 46 600 47 100
4				31 600 35 600 37 600	35 600 38 500 40 100	38 500 40 500 41 500	40 400 41 600 42 400	41 600 42 400 42 800
5				29 000 32 700 34 500	32 700 35 300 36 700	35 300 37 000 38 100	37 000 38 100 38 800	38 100 38 800 39 300
6				24 800 27 900 29 500	27 900 30 100 31 400	30 100 31 600 32 500	31 600 32 600 33 200	32 600 33 200 33 600
7				22 100 24 900 26 300	24 900 26 900 28 100	26 900 28 300 29 100	28 300 29 100 29 700	29 100 29 700 30 000
8				20 600 23 200 24 500	23 200 25 000 26 100	25 000 26 200 27 000	26 200 27 000 27 500	27 000 27 500 27 800

[1]) Ennuste, joka on laskettu vuosien 1972—1974 myyntihintojen perusteella.

[1]) *Prediction based on prices for 1972—1974.*

Taulukko 10. Kesämuovihuoneen ja lämmitettävän muovihuoneen hinnat on arvioitu vuodelle 1975 se. kesämuovihuoneen perustamiskustannus on 10 mk/m² ja lämmitettävän muovihuoneen 25 mk/m², jolloin $\hat{z}_1 = 3\,600$ mk ja $\hat{u}_1 = 24\,000$ mk. Kylmähuonekokonaisuuden pinta-alaksi on oletettu 100 m² ($=\bar{c}$) ja perustamiskustannukseksi 500 mk/m², joten $\hat{c}_1 = 50\,000$. Perustamiskustannuksissa oletetaan tapahtuvan nousua 10 % vuodessa. Arvoilla $\hat{h}_j$ ei ole merkitystä koska $H_j=0$

Table 10. The costs of summertime and heatable plastic greenhouses as estimated for 1975: costs of erecting a summertime greenhouse was 10 Fmk/m² and of a heatable one 25 Fmk/m², thus giving $\hat{z}_1 = 3\,600$ Fmk and $u_1 = 24\,000$ Fmk. The cold storage unit, assumed to be 100 m² in area ($= \bar{c}$) represents a cost of 500 Fmk/m² giving $\hat{c}_1 = 50\,000$. Erection costs are expected to rise at an annual rate of 10 %. The values $\hat{h}_j$ are not significant because $H_j=0$

j	$\hat{z}_j$	$\hat{u}_j$	$\hat{c}_j$
1	3 600	24 000	50 000
2	3 960	26 400	55 000
3	4 356	29 040	60 500
4	4 791	31 944	66 550
5	5 270	35 138	73 205

Taulukko 11. Kiinteät ylläpitokustannukset s_j vuosina 1973—1975 (mk) Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla sekä niiden minimi-, keski- ja maksimiarvojen ennusteet vuosille 1976—1980 [1])

Table 11. The fixed costs (s_j, in Fmk) of running the nursery during 1973—1975 at the Forest Research Institute's nursery in Suonenjoki. Predicted minimum, mean and maximum values for the same are given for the years 1976—1980 [1])

1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
			154 000	178 000	196 000	208 000	217 000
104 000	126 000	154 000	178 000	196 000	208 000	217 000	222 000
			188 000	206 000	216 000	222 000	225 000

[1]) Ylläpitokustannuksiin on laskettu mukaan kaikki taimille jakamattomat tuotantokustannukset.

[1]) *The costs of running the nursery include all production costs which can't be allocated to the seedlings.*

Kysyntäryhmittäiset loppuvarastot asetetaan seuraaviksi: $v_1 = 1\,500$, $v_2 = 250$, $v_3 = 250$, $v_4 = 0$, $v_5 = 600$, $v_7 = 50$, $v_8 = 30$, $v_9 = 150$, $v_{10} = 70$.

The final stores at the end of the year for the various demand categories are given as the following: $v_1 = 1\,500$, $v_2 = 250$, $v_3 = 250$, $v_4 = 0$, $v_5 = 600$, $v_7 = 50$, $v_8 = 30$, $v_9 = 150$, $v_{10} = 70$.

Oletetaan, että jokaisessa tuotantoketjun haarautumiskohdassa n. 5 % taimista luokitellaan kausittain raakeiksi ts. $\alpha_{ij} = 0{,}95$ kaikilla arvoilla i ja j.

It is assumed that at each branching in the production process approx. 5 % of the seedlings are discarded; i.e. $\alpha_{ij} = 0{,}95$ for all values of i and j.

Taulukko 12. Kausittain k:ksi vuodeksi myönnettävien lainamäärien ylärajat L_j^k sekä kausittaiset kokonaismäärän maksimit L_j

Table 12. The upper limits (L_j^k) for loans granted seasonally for k years and the seasonal maxima (L_j) for the sum of total loans granted

j	L_j^1	L_j^5	L_j
1	36 600	36 600	146 000
2	39 200	39 200	157 000
3	42 000	42 000	168 000
4	44 900	44 900	179 000
5	48 000	48 000	192 000

Luvun 42 mukaisesti asetetaan saatavissa olevan työvoimakapasiteetin rajoiksi (f_{jk}) kausittain seuvat arvot (tuntia): $f_{j1} = 9184$, $f_{j2} = 4592$, $f_{j3} = 9184$ ja f_{j4} [1]) $= 500$ kaikilla arvoilla j.

As mentioned in paragraph 42, the limits (f_{jk}) for the available labour capacity for each season receive the following values (in hours): $f_{j1} = 9184$, $f_{j2} = 4592$, $f_{j3} = 9184$ and f_{j4} [1]) $= 500$ for all values j.

[1]) f_{j4}:n arvolla ei käytännössä ole merkitystä, koska kyseisen kasvatusvaiheen aikana taimitarhalla ei ole tarkastelun kohteena olevaa työvoimaa.

[1]) *The value for f_{j4} has no practical significance since during the raising stage in question the nursery does not employ labour in the purpose being studied.*

Taulukko 13. Vuokratraktorista kausittain (j = 1, 2, 3, 4, 5) ja kasvatusvaiheittain (k = 1, 2, 3, 4) aiheutuvat lisäkustannukset t_{jk} (mk/traktori). Traktorin kasvatusvaiheittaiset kapasiteetit e_k (tuntia) on arvioitu se. $e_1 = 280$, $e_2 = 140$, $e_3 = 280$ ja $e_4 = 100$, eli kasvatusvaiheet 1 ja 3 käsittävät 40 työpäivää ja kasvatusvaihe 2 20 työpäivää. e_4:n ja t_{j4}:n arvoilla ei ole merkitystä, koska talvikaudeksi ei traktoria vuokrata. Työpäivän tehollisiksi pituudeksi on arvioitu 7 tuntia (vrt. työkapasiteetit f_{jk}). Lisäkustannukseksi on laskettu vuokran ja oman traktorin käyttökustannusten erotuksena vuodelle 1975 16,90 mk/tunti ja sen oletetaan kasvavan samassa suhteessa uusien traktorien hinnan kanssa

Table 15. Additional costs t_{jk} (Fmk/h) due to hiring a tractor given seasonally (j = 1, 2, 3, 4, 5) and for each raising stage (k = 1, 2, 3, 4). Tractor capacity e_k (hours) for each raising stage is estimated as follows; $e_1 = 280$, $e_2 = 140$, $e_3 = 280$, $e_4 = 100$. That is, raising stages 1 and 3 represent 40 working days and raising stage 2 represents 20 working days. The values for e_4 and t_{j4} are of no significance as tractors are not hired during the winter. The effective length of a working day is estimated to be 7 hours (cf. labour capacities f_{jk}). The additional cost (the difference between the cost of a hired tractor and the running costs of a tractor owned by nursery) was calculated to be 16,90 Fmk/h in 1975 and it is assumed to increase at the same rate as tractor prices

t_{jk}	k			
	1	2	3	4
1	4 733	2 367	4 733	1 690
2	5 107	2 554	5 107	1 824
3	5 362	2 681	5 362	2 915
4	5 521	2 761	5 521	1 972
5	5 624	2 812	5 624	2 009

Taulukko 14. Sellaisten taimilajien tuotantoketjuttaiset alkuvarastot X_{io} (1 000 kpl) joille S(i) $\neq \varnothing$ ja $\delta = 1$ Suonenjoen taimitarhalla vuoden 1976 alussa

Table 14. Early 1976 Suonenjoki nursery inventory (X_{io}) of plants (in thousands) from different production chains (i) for which $S(i) \neq \varnothing$ and $\delta = 1$

i	X_{io}
1	736,64
5	309,85
6	309,85
7	306,20
10	180,79
11	177,95
12	32,24
13	61,54
15	269,39
17	312,05
21	134,44
23	37,00
24	37,00
25	221,20
26	203,90
29	113,70

Taulukko 15. Taimien kysynnän kysyntäryhmittäiset minimi- ($k_{q\cdot}$) ja maksimiarvot ($K_{q\cdot}$) Suonenjoen taimitarhalla vuosina 1977—1980 eli kausina 2, 3, 4 ja 5

Table 15. The minimum ($k_{q\cdot}$) and maximum ($K_{q\cdot}$) values of the demand categories in 1977—1980 or periods 2, 3, 4 and 5

q	$k_{q\cdot}$	$K_{q\cdot}$
1	0	0
2	750	1 000
3	1 125	1 500
4	375	500
5	0	0
6	150	200
7	375	500
8	22	30
9	0	0
10	202	270

APPROACHES FOR FUNCTIONALLY DECENTRALIZED WOOD PROCUREMENT PLANNING IN A FOREST PRODUCTS FIRM

KARI KEIPI

SELOSTE

MENETELMIÄ METSÄTEOLLISUUSYRITYKSEN TOIMINTOJEN MUKAISESTI HAJAUTETTUA PUUNHANKINNAN SUUNNITTELUA VARTEN

HELSINKI 1978

ODC 796.7
ISBN 951-40-0328-4
ISSN 0026-1610

ABSTRACT

The study compares the applicabilities of seven approaches to decentralized wood procurement planning in a Finnish forest products firm. A team of the timber division head and the function managers is responsible for the wood procurement. Decentralization means that the managers independently prepare the purchase, logging and transportation schedules; the overall plan is based on these schedules. Three criteria are used for evaluating the approaches. A good procedure is cheap, applicable to describing the wood procurement problem and able to produce the globally optimal plan.

The results show that none of the approaches fulfills all the requirements. The Dantzig-Wolfe decomposition principle, the goal programming procedure, and the discrete simulation procedure are the best representatives of the different basic methods. It is apparent that discrete simulation, if a proper optimization routine imbedded in it, may rank highest. The comparison in this paper is primarily between the theoretical qualities of the approaches. Therefore it is suggested that in future studies the ranking of the three approaches be tested through computational experiments in real organizations.

Tutkimuksessa vertaillaan seitsemän menetelmän soveltuvuutta metsäteollisuusyritysten hajautettuun puunhankinnan suunnitteluun. Puunhankinnasta vastaa metsäosaston ryhmä, johon kuuluvat metsäpäällikkö ja alijohto. Hajautuksella tarkoitetaan sitä, että alijohto tekee itsenäisesti oston, korjuun ja kaukokuljetuksen suunnitelmat; niistä laaditaan puunhankinnan kokonaissuunnitelma. Menetelmien hyvyyden arvioimiseen on käytetty kolmea kriteeriä: Valittavan menettelytavan tulisi olla halpa, käyttökelpoinen erilaisissa käytännön puunhankintatilanteissa ja sen tulisi johtaa koko metsäosaston kannalta optimaaliseen hankintasuunnitelmaan.

Tulokset osoittavat, ettei mikään tarkastelluista menetelmistä täytä kaikkia kolmea kriteeriä. Erityyppisistä ratkaisuvaihtoehdoista käyttökelpoisimmat ovat Dantzig-Wolfe-dekompositioalgoritmi, tavoiteohjelmointi sekä diskreetti simulointi. On ilmeistä, että diskreetti simulointi saattaisi olla menetelmistä soveliain, jos siihen voitaisiin liittää optimointirutiini koko metsäosaston kannalta parhaan suunnitelman löytämiseksi. Tässä tutkimuksessa menetelmiä tarkastellaan pääasiassa teoreettisesti. Hyviksi havaittujen menettelytapojen lopullinen keskinäinen paremmuus ratkeaa vasta, kun niitä kokeillaan laskennallisesti olemassaolevissa puunhankintaorganisaatioissa.

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

PREFACE

This study has been carried out in the Finnish Forest Research Institute, Economics Department, in 1976—78. It continues my previous piece of research »Transfer Pricing for Log Allocation in a Decentralized Forest Products Firm», published under number 89.2 in this series. My major professor, Dr. Matti Keltikangas of Helsinki University has supported me in every phase of the study. I am grateful to him and my chief, Prof. Jouko Hämäläinen who has provided me excellent working conditions. Professors Risto Seppälä of the Institute, Pekka Kilkki of Helsinki University, Jouko Lehtovuori, Markku Sääksjärvi and especially Markku Kallio of Helsinki School of Economics, together with Antti Kanerva and Pentti Kuokkanen of Enso-Gutzeit Co. have constructively criticized the manuscript. I express my gratitude to them and the foresters of eight Finnish forest products firms who have helped me to picture the wood procurement practices of today. Special thanks belong to Antti Kanerva, the operations research specialist of Enso-Gutzeit Co.'s timber division for directing the computer calculations.

I am grateful to my collaborators Maija Kuusijärvi, Nora Sepúlveda and Kaija Westin in the Department for their assistance. The physical training in the Department's »Cooper's Club» in the fall slush and winter's snow has provided me with necessary extra endurance for these two years. Fellowship with the faithful Navigator student friends has helped to combine the healthy body with a brisk spirit.

Helsinki, February 1978.

Kari Keipi

CONTENTS

Page

Abstract 2

Preface 3

1. Introduction 5
   11. Decentralization 5
   12. A Centralized and a Decentralized Resource Allocation Problem 7
   13. The Wood Procurement Problem 12
   14. The Objective and Outline of the Study 16

2. Criteria for Choosing between Decentralized Planning Approaches 19

3. Alternative Approaches of Decentralized Wood Procurement Planning 21
   31. Classification of the Approaches 21
   32. Approaches with Money as the Coordinative Tool 23
      321. Dantzig-Wolfe Decomposition Principle 23
      322. Price Adjustment Procedure 30
      323. Functional Trading Procedure 33
   33. Approaches with Timber Allotment as the Coordinative Tool 36
      331. Goal Programming 36
      332. Simulation through System Dynamics 44
      333. Discrete Simulation 48
   34. Approach of Pure Negotiations 52
   35. Comparing the Approaches 55

4. Summary 59
   41. Conclusions 59
   42. Extensions 64

Bibliography 67

Seloste 71

Appendix 1. Wood Procurement Planning in Practice 75
   11. Planning Process 75
   12. Planning Techniques Applied 77
   13. Managers' Goals 78
   14. Attitudes towards Decentralization 80

Appendix 2. Wood Procurement Simulation Models 82
   21. System Dynamics Approach under Centralization 82
   22. System Dynamics Approach under Decentralization 86
   23. Discrete Simulation Approach under Decentralization 86

Appendix 3. Wood Procurement Analytic Models: A Case 92
   31. Linear Program under Centralization 92
   32. Goal Program under Decentralization 98
   33. Case Firm Data 104
   34. Problem Solution and Results 112

1. INTRODUCTION

11. Decentralization

Decentralization may take many forms in business firms. It could appear as divisionalization — partitioning the various segments into profit center divisions. It may come out as increasing participation in the decision making in every echelon of the organizational hierarchy. More or less formal groups can evolve where people work as teams. Presumably, decentralization is chosen in the expectation that the resulting organizational structure will better serve the firm's objectives than a centralized scheme. There are many advantages of decentralization. One of the most commonly mentioned benefits is the *flexibility* of decision making (e.g. Arrow 1959, p. 12; Dopuch and Drake 1964, p. 1; Hass 1968, p. B-310; Marschak 1959, p. 400; Shillinglaw 1964, p. 149). Decentralization may facilitate decision making under *uncertainty* better than centralization and *simplifies* the planning process (e.g. Arrow 1959, p. 12; 1964, p. 400; Baron 1972, p. 163; Dopuch and Drake 1964, p. 1; Jennergren 1972, p. 27; Marschak 1959, p. 400; Shillinglaw 1964, p. 149). All of these properties facilitate fast production adjustments to changes in market conditions (cf. Horngren 1972, p. 693). Another major benefit is the improving of employees' incentives, innovation and *motivation* to good performance (e.g. Arrow 1964, p. 400; Baron 1972, p. 163; Benston 1975, p. 337; Dopuch and Drake 1964, p. 1; Knight and Weinwurm 1964, p. 48; Shillinglaw 1964, p. 149—150). Horngren (1972, p. 693) lists still more advantages: providing more time to top management for strategic planning, training managers for the future.

The major disadvantage of decentralization is dysfunctional decision making. This comes from the incongruence of the top management and employees' goals. The coordination of the decentralized units is difficult (e.g. Arrow 1959, p. 12; Baron 1972, p. 170; Horngren 1972, p. 694; Kortanek 1972, p. 75). *Inoptimal* solutions for the firm as a whole may take place in a decentralized firm also because an independent unit produces false information to the other units to promote its own interests. This is called informational cheating (Baron 1972, p. 164; Jennergren 1972, p. 27). The *information* production and *exchange*

costs may increase (Baron 1972, p. 170; Horngren 1972, p. 694; Kortanek 1972, p. 75), or they may decrease under decentralization (Arrow 1959, p. 1; Benston 1975, p. 338; Marschak 1959, p. 401).

There are two major styles of leadership related to centralization and decentralization. One is task oriented where the needs of the whole organization play a central role. It has been developed by Taylor (1911). Another one is people-oriented which focuses on the individual in an organization. It has been started by Mayo (1945). The styles reflect two opposing theories of human behavior. According to McGregor (1966) Theory X assumes that the average person has aversion for work. Any leadership position is given from the upper echelons of the organization's hierarcy. Theory Y emphasizes the integration of individual and organizational goals. People are creative and exercise self-control in their work. Leaders are given their real power not only from above but also through the approval or disapproval of their subordinates (Gunther 1974, pp. 31—33).

Hersey and Blanchard (1975, pp. 86—94) describe some of the empirical work done by the Michigan Survey Research Center, Ohio State University and the group theorists. It has been found that task and people orientation may be two separate dimension of a leadership pattern. Likert (1961, p. 7) has discovered that the best supervisers give clear limits of rights and responsibilities to the employers and enough freedom to operative within these limits. Individual freedom at job increases productivity. Other researchers have found these results too simplifying. For example, Tannenbaum and Schmidt (1958) and Fielder (1967) suggest that choosing a leadership pattern depends on (1) the character of the superior, (2) the character of the subordinate and (3) the situation. This is called the Contingency Theory. Reddin (1967) has similar postulates in his 3-D (3-Dimension) theory. According to the two theories any one leadership pattern is not »the» best for every case. Fielder (1967, pp. 133—153) concludes that the authoritarian leader is most effective in very favorable and unfavorable situations, whereas the participative leader is best in moderately favorable conditions.

This study discusses decentralization in wood procurement planning on the highest echelon in a forest products firm's timber division hierarchy. We do not go deeper into analyzing whether centralization or decentralization is »the» better way of managing a firm's wood procurement. We only assume that some decentralized leadership mode has been chosen. The echelon consists of the division head and his closest assistants: the timber purchase, logging and transportation managers. Since the timber division has a functional organization, these assistants are called the function managers. There may be, however, several decentralized leadership patterns in a forest products firm. Figure 1 shows three participative fashions on the right end of the leadership style continuum. The function managers take part in the planning from its early beginning in all three leadership styles. The final plan can be put together by the timber division head, the group formed by the head and the function managers, or in the purest form of decentralization, by the function

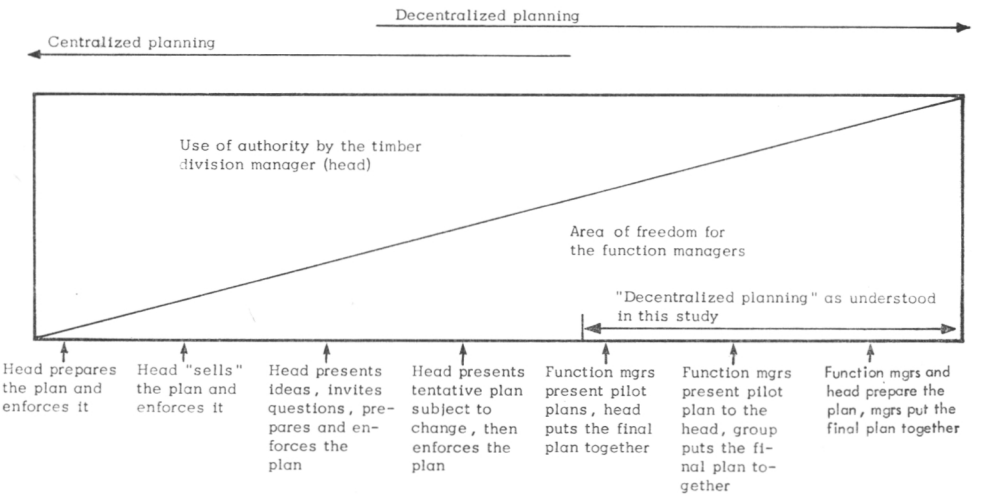


Figure 1. Leadership style continuum in wood procurement planning (cf. Tannenbaum and Schmidt 1958, p. 96).

Kuva 1. Puunhankinnan suunnittelun johtamistyypit jatkumona (vrt. Tannenbaum ja Schmidt 1958, s. 96).

managers alone. In this study, the planning under decentralization takes place in some of the participative fashions. The coordination of the three functional plans into one divisional master plan may take several forms. These forms refer to the decentralized methods applied. It is the objective of this study to present and compare some of these methods.

12. A Centralized and a Decentralized Resource Allocation Problem

The wood procurement problem of this study is a type of resource allocation analysis. The models usually applied to resource allocation are analytic by nature. Therefore, we too wish to depict here the theoretical introduction of decentralization as analytic (optimization) models. In centralized planning one model for the whole resource allocation problem suffices. Under decentralization, the whole problem is broken into submodels. In this section we call the whole system »organization» and its parts »departments». We assume that the organization maximizes its corporate profit. The analytic framework would remain the same for cost minimization. To make the following mathematical formulations more illustrative to the forestry oriented reader the resource to be allocated here is timber. What we call »resources» or »departmental resources» are labor, machinery and other non-wood production factors. The classical mathematical timber allocation problem for a *centralized* organization with one nonautonomous supplier department and one or several nonautonomous user departments is of the following general form (cf. Jennergren 1972, p. 1):

(1.1) Maximize

$$(0) \quad \sum_{h=0}^{H} f_h(z_h)$$

subject to

$$(1) \quad z_h \in Z_h, \text{ for } h = 0, \ldots, H$$

$$(2) \quad \sum_{h=1}^{H} g_h(z_h) \leq a$$

where

$z_h = (z_h^j)$ = vector of the timber grades j ($j = 1, \ldots, J$) to be allocated from the supplier department ($h = 0$) to the user departments ($h = 1, \ldots, H$), cu.m.

$f_h(z_h)$ = net revenue function of department h, mk

Z_h = set of feasible timber allocations of department h, cu.m.

$g_h(z_h)$ = timber demand functions for grades $j = 1, \ldots, J$ of the user departments, cu.m.

a = vector of the ($j = 1, \ldots, J$) timber grades available, cu.m.

The organization's profit is the sum of the department's net revenues. Constraints (1) indicate the feasible timber allocations for the supplier department and the user departments. Constraints (2) show the availabilities of timber.

When the objective function and constraints are linear the centralized timber allocation problem becomes (cf. Dantzig 1963, p. 448):

(1.2) Maximize

$$(0) \quad \sum_{h=1}^{H} c_h z_h$$

subject to

$$(1) \quad B_h z_h \leq b_h, \text{ for } h = 0, \ldots, H$$

$$(2) \quad \sum_{h=1}^{H} A_h z_h \leq a$$

where

c_h = row vector of department h unit net revenues for the timber grades ($j = 1, \ldots, J$), $h = 0, \ldots, H$; mk/cu.m.

B_h = department h requirement coefficient matrix for the resources, other than timber, resource units/cu.m.

b_h = vector of resources, other than timber, available for department h, resource units/cu.m.

A_h = timber demand coefficient matrix for grades $j = 1, \ldots, J$ of user department h, resource units/cu.m.

z_h, a = as for problem (1.1).

In the purest form of centralization, the timber allocation problem for the whole timber division could be solved through this kind of a program. A *decentralized* timber allocation attempts to solve problems (1.1) or (1.2) by breaking them into smaller departmental subproblems. The task remains to *coordinate* these subproblems in such a manner that the best combination of subproblem solutions constitutes an optimal solution for (1.1) or (1.2) (cf. Jennergren 1972, p. 18). As an example of how decentralization in timber allocation may work we take the classic Dantzig-Wolfe decomposition algorithm for linear programs, the basis for developing most of the decomposition methods of today. It is an iterative method that uses transfer prices (shadow prices) as parameters to coordinate the departmental subproblems. It should converge to an optimal solution after one feasible solution has been found. (Dantzig and Wolfe 1961, p. 772; Burton *et al.* 1974, p. 310; Baumol and Fabian 1964, pp. 5, 24—31).

The algorithm has the following steps:

1. The organization's headquarters announces a set of tentative transfer prices for timber. It asks the profit center user departments ($h = 1, \ldots, H$) about their demand schedules given these prices.
2. The departments solve their allocation problems (1.3) independently of each other, and report their optimal allocations and profits to the headquarters.
3. The headquarters uses departmental allocations and profits as inputs to a master program (1.4). The master program finds the convex combination of the divisional allocations which yields the highest corporate profit. The program produces a shadow price for each timber grade. The shadow prices are announced as new transfer prices.
4. The departments solve the subproblems and report their optimal allocations and profits to the headquarters as in step 2. The iterations continue until some master program gives the same solution as the previous one. From that point the shadow prices would not change in new iterations, either. The last iteration produces the optimal convex combination of the allocations of all previous iterations.
5. At the execution step, the headquarters enforces the optimal timber allocation. The transfer prices do not play any role in the execution.

The user departments' ($h = 1, \ldots, H$) problems are of the following form:

(1.3) Maximize

(0) $(c_h - p^n A_h)\, z_h^n$

subject to

(1) $B_h z_h \leq b_h$

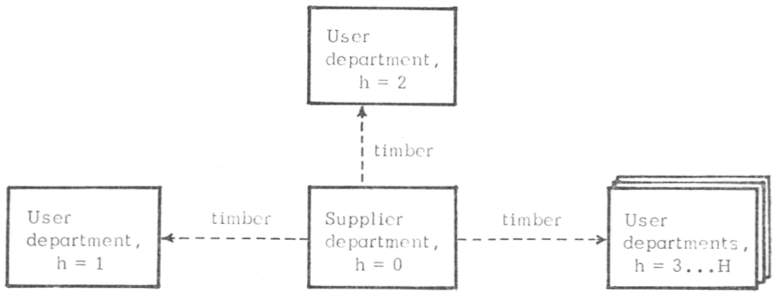


Figure 2. Timber flows in the Dantzig-Wolfe decomposition algorithm organization with one supplier ($h = 0$) and H user departments.

Kuva 2. Puuvirrat Dantzig-Wolfe-dekompositioalgoritmin edellyttämässä puunhankintaorganisaatiossa, jossa on yksi puuta toimittava osasto ($h = 0$) ja useita (H) sitä käyttäviä osastoja.

where

p^n = transfer price row vector for the $j = 1, \ldots, J$ grades at iteration n, mk/cu.m.

z_h^n = vector of the timber grades ($j = 1, \ldots, J$) to be demanded by department h at iteration n, $h = 1, \ldots, H$; cu.m.

c_h, B_h and b_h are as for problem (1.2).

The master program is:

(1.4) Maximize

$$(0) \quad \sum_{h=1}^{H} \sum_{n=1}^{N} r_h^n w_h^n$$

subject to

$$(1) \quad \sum_{h=1}^{H} \sum_{n=1}^{N} z_h^n w_h^n \leq a$$

$$(2) \quad \sum_{n=1}^{N} w_h^n = 1 \quad \text{for } h = 1, \ldots, H$$

$$(3) \quad w_{ht} \geq 0 \quad \text{for all } h, t$$

where

w_h^n = weight to be given to user department h allocation at information exchange iteration n

r_h^n = user department h profit at iteration n, mk

z_h^n = vector of the $j = 1, \ldots, J$ timber grades to be demanded by department h according to its computation at iteration n, cu.m.

a is defined as for problem (1.2).

The master program objective is to maximize the organization's profits. Constraints (1) show the availabilities of timber in the supplier department. They produce the J transfer prices which are used in the information exchange iterations n. The

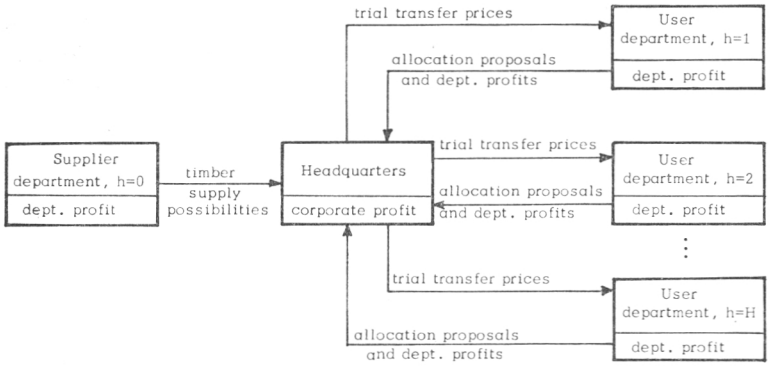


Fig. 3a.

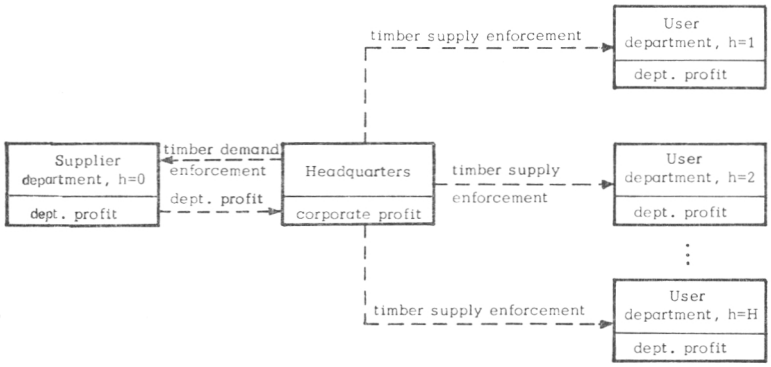


Fig. 3b.

F gure 3 a—b. Information flows in the adjustment (Fig. a) and execution (Fig. b) phases of the Dantzig-Wolfe decomposition algorithm organization with one timber supplier ($h = 0$) and H user departments.

Notation: ——→ iterative flow
——–→ noniterative flow

Kuva 3 a—b. Tietovirrat Dantzig-Wolfe-dekompositioalgoritmin edellyttämässä puunhankintaorganisaatiossa hankintasuunnitelman suunnittelu- (kuva a) ja täytäntöönpanovaiheessa (kuva b). Organisaatiossa on yksi puuta toimittava osasto ($h = 0$) ja useita (H) sitä käyttäviä osastoja.

Huom. ——→ *iteratiivinen tieto*
——–→ *kertakaikkinen tieto*

last iteration is N but still iteration $N + 1$ is needed to show that this is the case. Constraints (2) guarantee that for each user division, the sum of the convex combination weights amounts to one.

Figure 2 shows the timber flows in the Dantzig-Wolfe algorithm framework. We have an organization where the resource flows from one source to several sinks. Figure 3a presents the information exchange iterations between the headquarters and the user departments in the algorithm's adjustment phase. One announcement of the amount of timber available constitutes the »flow» from the supplier department

to the headquarters. Figure 3b illustrates the information flows in the execution phase. The headquarters enforces the optimal corporate timber allocation to the departments. In this phase it for the first time receives the supplier division's profit information and is able to calculate the organization's total profit.

13. The Wood Procurement Problem

The object of this study is the timber division of a typical, integrated Finnish forest products firm. The division is a cost center — a service department to the mills. Its major task is to deliver the timber demanded by the factories as cheaply as possible. Until the beginning of the 1960's this duty was implemented by the regional foresters who, in the line organization, were responsible for the purchases, logging and transportation in their areas (Figure 4a). Gradually, the line organizations changed to functional ones (Figure 4b). The position of staff experts disappeared. The new jobs of the purchasing, logging and transportation managers were created. The regional foresters' status was changed. In most cases they maintained most of their duties, being now responsible to the function managers. In a few firms, specialization was extended to the regional level as shown in Figure 4b. All this happened in order to gain from the specialization in wood procurement. The diversification gradually produced quite an independent position for the experts. They needed to exchange information with each other for decision making and the more or less formal timber division top teams evolved (cf. T i a i n e n 1971, pp. 5—7).

As shown in Figure 5, the wood procurement starts by purchasing wood on stump or on delivery at the road side in various regions. In Finland, the stumpage purchases are more common than the delivery purchases. The timber procured can also originate from the firm's own forest. For most Finnish firms the timber from their own forest only amounts to less than ten per cent of the mills' total timber use. The stumpage timber purchased stays standing until logged. The logged and delivery purchased timber is stored in the road side inventories. From there it is transported to the company's own mills or to the mills of other firms. Timber can also be purchased from other firms. The mills take the timber they need from the mill inventories. The task of planning is to allocate timber from different source areas to different destinations (mills) so that the wood procurement proceeds as smoothly and as cheaply as possible. This job is made more complicated by the fact that timber is a heterogeneous product with different grades — various tree species and quality classes are involved. The supplies and demands of timber of varying grades may not match.

It is apparent from Figure 5 that the wood procurement process in practice differs from the theoretical resource allocation framework in the previous section. There the resource which is timber originated from one source, called the supplier

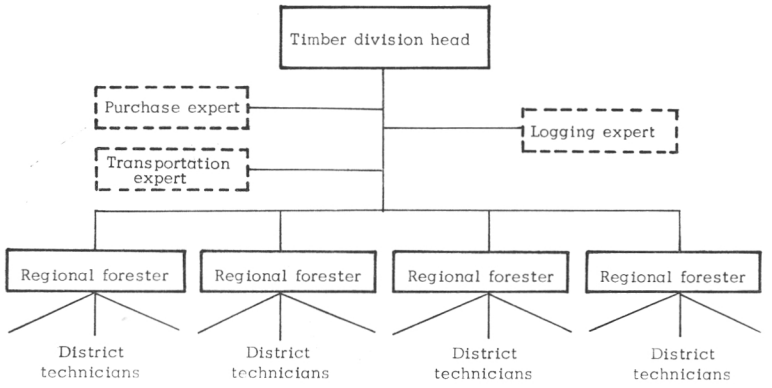


Fig. 4a.

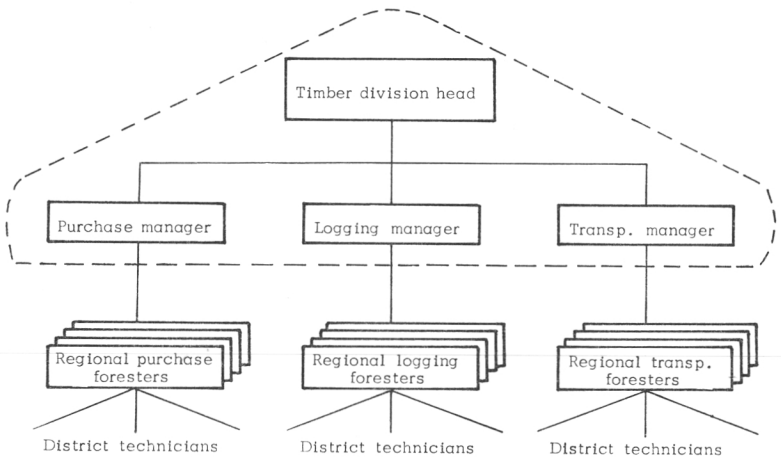


Fig. 4b.

Figure 4 a—b. Example of a timber division's line (Fig. a) and purely functional (Fig. b) organization.

Note: Broken line marks staff personnel (Fig. a) or the division's possible top team (Fig. b) in wood procurement planning.

Kuva 4 a—b. Esimerkki metsäosaston linjaorganisaatiosta (kuva a) ja puhtaasta toiminto-organisaatiosta (kuva b).

Huom. Katkoviiva erottaa metsäosaston esikuntaelimen (kuva a) tai sen mahdollisen johtoryhmän (kuva b).

department, and had several destinations, namely the user departments (Figure 2). Here the wood procurement is a chain process where timber moves through three »departments», now called functions. The purchase function is timber supplier, the transportation function timber user but the logging function is a combined user and supplier as shown in Figure 6.

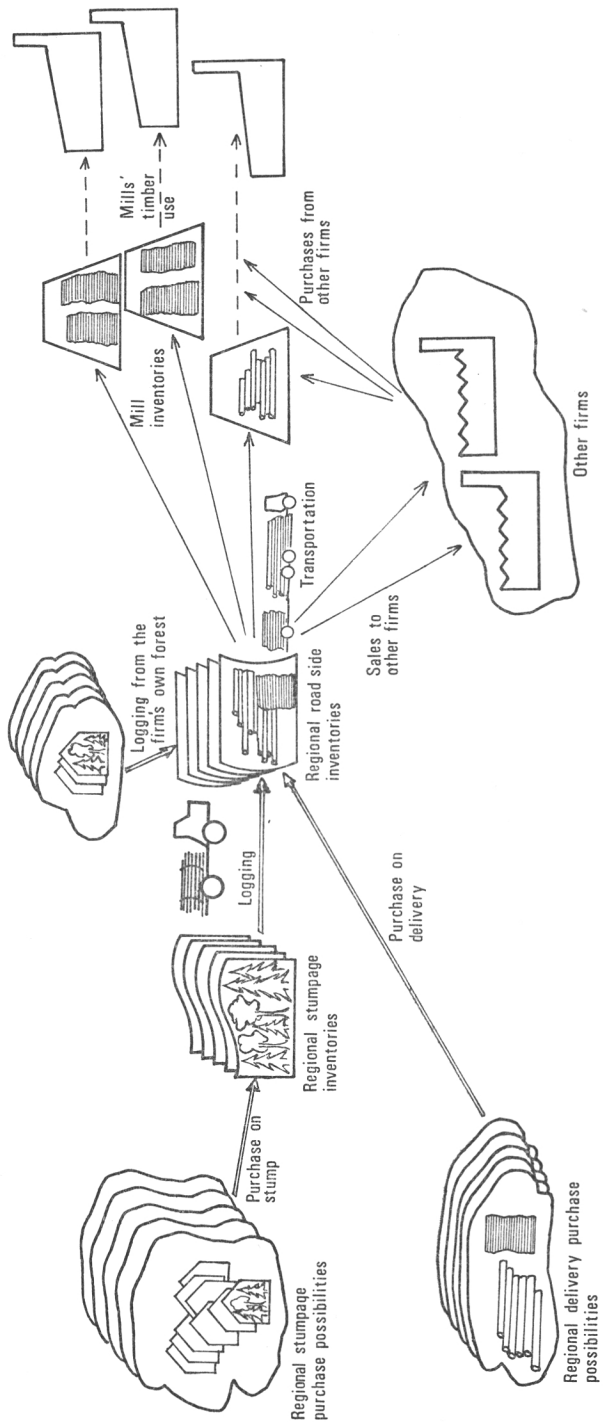


Figure 5. Wood procurement problem.
Kuva 5. Puunhankintaongelma.

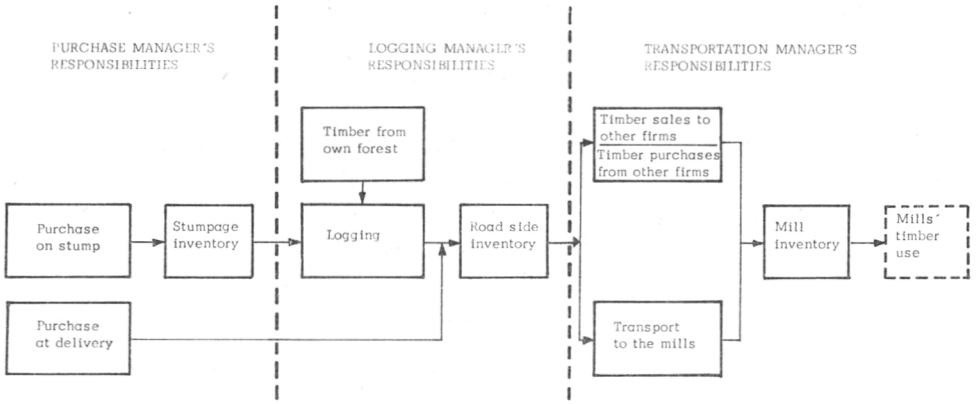


Figure 6. Wood procurement functions.
Kuva 6. Puunhankinnan toiminnot.

Large companies may operate in vast, diverse geographic areas. For them, wood procurement could perhaps best be described as a two stage process. The regional foresters would be responsible for the purchase and logging of timber, and the transportation manager for its transferring to the mills. In such firms, if decentralized, the independent departments could be the regional offices and the transportation function. The scope of this study concerns, however, small or intermediate size forest products firms that operate in quite small and uniform geographic areas. For them decentralization on a functional rather than regional basis is a relevant problem.

The *purchase manager* is the expert of the timber market. He is responsible for the stumpage and delivery purchases. He is in charge of keeping sufficient stumpage inventories for the logging and satisfactory amount of delivery purchased timber in the road side inventories. The *logging manager*'s responsibility is to take care of the felling, and hauling of purchased or firm-owned timber from stump to the road side. His duty is to procure enough wood to the road side inventories. The *transportation manager* takes the road side timber to the company's own mills or delivers it to the mills of other firms. He also purchases wood from other firms. The transportation manager is mainly to see that the mills' timber demands are satisfied. This division of the responsibilities is common in many companies. However, in some firms the purchase manager takes care of timber sales to and purchases from other firms. In others, he may also be responsible for deciding about the harvest from the company's own forest. In some small companies the logging and transportation managers' tasks are combined. The person responsible for them is called the field manager.

The length of the basic wood procurement planning period varies somewhat among the Finnish forest products firms. It depends especially on the transportation method. Floating, for example, requires much time and thus a long planning horizon.

In this study trucks are assumed to be the main means of transportation. The wood procurement plan is prepared for one year which is divided into quarters. This is the most common time horizon in intermediate and short term planning in the forest products firms.

Appendix 31 presents a mathematical formulation of the centralized wood procurement problem. Most analytic resource allocation models in practice today are those of linear programming. They have proved quite applicable to solving these types of business problems (cf. Hillier and Lieberman 1972, p. 127; Miller and Starr 1969, p. 547; Wagner 1970, p. 31; etc.). Its strong and weak points are well known. Linear programming is applicable to log allocation and wood procurement-type problems (Bare 1971; Keipi 1977). Therefore, model (a.1) of Appendix 31 is a (centralized) linear program.

14. The Objective and Outline of the Study

The study objective is to present and compare, primarily theoretically, a group of approaches for wood procurement planning under decentralization. The aim of this study is to help the head of a functionally organized timber division to choose a proper decentralized planning procedure. It is not our task to advocate decentralization. We only assume that decentralization has been chosen and a decision upon the planning approach must be made. An approach must fulfill certain requirements in order to be useful when planning the purchase, logging and transportation of timber. It should be cheap, applicable to today's changing wood procurement situations and should lead to the best plan for the timber division as a whole.

The increased number of articles in professional forestry magazines and the workshops on decentralization indicate that the early 1970's have started a period of participative decision making in the Finnish forest products firms. For this study, foresters of some companies have been asked about the actual level of decentralization in wood procurement planning (Appendix 14). The talks show that participation has gradually increased in the past. The young leaders wish to enhance decentralization also in the future. The question arises: Why should the wood procurement planning be decentralized? The interviewees list the same reasons that management literature reports as benefits of decentralization: improved flexibility, simplification and motivation in planning. The wood procurement managers are usually well trained in making independent decisions in their fields of specialization. Neither are they lacking the ability to consider the wood procurement as a whole. Keeping these above reasons in mind it is no wonder that the timber divisions' executives are seriously pondering possibilities for further decentralization. There is a need to identify and test acceptable decentralized wood procurement planning approaches. The objective of this study is to meet this need.

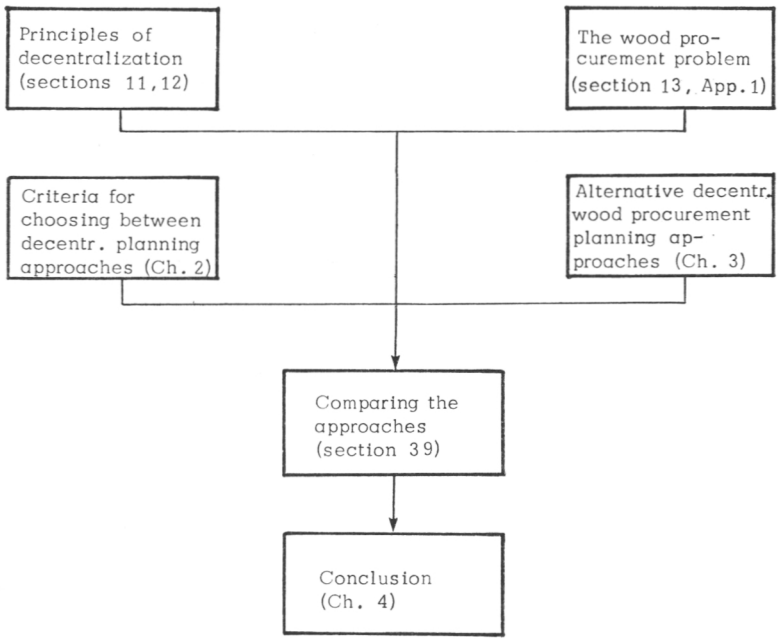


Figure 7. Outline of the study
Kuva 7. Tutkimuksen kulku.

This study concerns functionally decentralized wood procurement planning. One may ask: Why should the decentralization follow a functional pattern and not, for example, a regional one? The reason is the organization of a small and intermediate size Finnish forest products firm which is the object of this study.

The functional mode of organization has increased in forest products firms since late 1960's. In small and intermediate size companies the purchase, logging and transportation managers take care of the whole firm's wood procurement. In large firms, operating in vast and diversified geographical areas, decentralization could take place on a regional basis. The study concerns smaller firms for which functional decentralization is a more valid alternative. It is also worth mentioning that even in large firms the regional activities are often functionally organized so that the purchase and logging technicians of each region make quite independent decisions. In most companies today, whether small or large, more or less centralized, the overall wood procurement plan is put together step by step where transportation, logging and purchase are treated as separate stages (Appendix 11). Therefore, this study concerns the functional, not regional, decentralization of wood procurement planning. When employing any planning method, the functional decentralization could take many forms. In this study we do not consider cases where one manager dominates the others. Domination would result in hierarchical decentralization. It

would be against the participative planning fashion defined in section 11. The purchase, logging and transportation managers form a group, more or less supervised by the timber division head but never by one of the managers (Figure 4 b). The managers have an equal possibility of making their opinions heard in the wood procurement plan preparation.

The study objective is pursued by following the *outline* of Figure 7. Some principles of decentralization are presented in sections 11 and 12. The wood procurement problem is discussed in section 13 and Appendix 1. Chapter 2 examines requirements for proper decentralized wood procurement planning approaches. Chapter 3 presents alternative procedures and evaluates and compares them. Appendices 2 and 3 show details of some of the methods. Chapter 4 summarizes the results presenting a rough ranking of the procedures and gives suggestions for future research.

2. CRITERIA FOR CHOOSING BETWEEN DECENTRALIZED PLANNING APPROACHES

Theoretical validity of a planning method, in the operations research terminology, usually refers to its ability to produce (feasible and) optimal solutions. This requirement has first been defined for the simplex algorithm of the linear programs. In decentralized planning, the final aim is to reach the *global optimum*. The requirement for theoretical justification is important but does not guarantee a method's usefulness in practice. An approach should also be managerially acceptable in the organization where it would be employed. It should be *applicable* in the varying business situations.

The requirements given to the planning approaches relate either to the avoiding of the drawbacks or to the gaining of the benefits of decentralization, discussed in section 11. A procedure may well include most of the benefits and avoid many of the drawbacks but it would not be applied unless it is *cheap* to set up and cheap to use. Thus a good decentralized planning approach is:

1. cheap
2. applicable
3. able to reach the global optimum.

(1) The decentralized wood procurement planning occurs in four places. Those are the purchase, logging and transportation subunits, and the timber division headquarters. The costs of a decentralized wood procurement planning approach can be divided into the set-up and operating costs. Naturally, the approach should be as *cheap* as possible. The setting up concerns creating the necessary programs, training the existing personnel and employing new personnel. The operating costs consist of the basic data collection and its manual or machine processing in the functions and at the headquarters. Information exchange costs are also involved. They depend on the number of information exchange channels and especially on the number of the exchange iterations needed. A planning technique is of little value if it promises optimal wood procurement schedules that may be actually easy to implement, but requires a high investment.

(2) In recent years the market conditions of roundwood have changed greatly. During 1974, for example, the stumpage prices of some timber grades doubled. Two years later some prices were only one third of those during the boom. Not only the timber but also other resources' prices and quantities used have oscillated. Few planning approaches are well *applicable* in such situations. In rapidly changing markets the planning approach employed should produce fast solutions. A good procedure is able to identify all the feasible functional wood procurement schedules.

From a large number of alternatives it finds a proper overall plan even in peculiar business conditions. The changing wood markets call for uncertainty analyses. Stochasticity usually forces an increase in the model size. The model's structure should be simple enough so that the increase does not prevent it from solving the often already complex problem. The procedure should produce meaningful results even when the data on the purchasable timber, or availability of logging or transportation resources are scarce. It is invaluable if the subjective »feel» of the function managers in the changing business cycles can be included in the formal planning process.

A method can be flexible in the way we have described it in the above paragraph. But it is well applicable only if it also ensures substantial contribution to the function managers' motivation. A plan may show excellent attainment of the firm's goals but unless implemented, it is worthless. The managers are motivated if they can shape the functional schedules quite independently of others (cf. Dopuch and Drake 1964, p. 340; see also Appendix 14). At the same time they should sense equality in the decision making with the other function managers. If possible, they should participate in the putting together of the final plan as shown in the decentralized end of the leadership style continuum of Figure 1.

(3) The function managers have personal wood procurement goals that often conflict with the division head's overall goal. A manager may be tempted to deliver wrong information to misguide the other managers or the division head for his own, selfish benefit (Jennergren 1972, p. 27). The gaming could be detrimental to the timber division as a whole (cf. Baron 1972, p. 171). Informational cheating may then prevent attainment of the *global optimum*. The requirement of reaching the global optimum means, besides true information exchange, that the planning model should have a built-in systematic procedure that screens all wood procurement solution alternatives and converges to the overall optimum (cf. Jennergren 1972, p. 24).

In the following chapter we consider seven alternative approaches for decentralized wood procurement planning in light of the criteria. The criteria are interrelated: a cheap procedure may not be applicable for implementation or able to reach the global optimum. A method that would be easy to implement may not include an optimization mechanism, etc. It is hard to apply an evaluation scale to the requirements that would treat the approaches on an equal basis. In this study we use a three-grade scale where the fulfillment levels are good, fair or poor.

3. ALTERNATIVE APPROACHES OF DECENTRALIZED WOOD PROCUREMENT PLANNING

31. Classification of the Approaches

A decentralized wood procurement planning approach is a method which attempts to find the overall wood procurement schedule by first breaking it up into smaller, functional subproblems. The timber division head assumes the task of coordinating these subplans in such a manner that their combination constitutes the best wood procurement plan for the division as a whole. In order to be able to understand how such coordination should be done we need to know the functional interdependencies. We study them by trying to break up the centralized wood procurement linear program (a.1) of Appendix 31 into the three functional subproblems.

The linear program for transportation would consist of objective (A) and constraints (A. 1)—(A. 5). The programs for logging and purchasing would contain objective (B) and constraints (B. 1)—(B. 6), and objective (C) with constraints (C. 1)—(C. 5). The functional objective functions (A), (B) and (C) are mutually independent. Figure 8 shows the incomplete block diagonal structure of the constraint coefficient matrix of program (A. 1) (cf. K a l l i o 1975a, p. 2). In the figure, rows represent constraints and columns variables. Most of each function's constraints contain only that function's activities. The two constraint sets that do not cause interdependencies are (B. 1) and (C. 1). They constitute the internal timber supply-demand equilibrium conditions. An independent logging manager would not include internal timber demand variables (y_{ijot}) and (y_{ijkt}) by transportation, and supply variables (v_{ijt}) by purchase in constraints (B. 1). Similarily, an autonomous purchase manager would cast out the internal demand variables (x_{ijt}) by logging in constraints (C. 1). But then constructing an overall wood procurement plan from the separate purchase, logging and transportation schedules would be impossible.

Some form of coordination is needed either in the subunits programs' objective functions or in constraints. It may involve a separate master program in the headquarters. When money is used as a coordinative tool, it appears in the subunits' objective functions as transfer prices or side payments. If instead of money, timber volume allotments are the means of coordination, additional guiding constraints would be included in the functional programs (cf. B a r o n 1972, p. 165; C h a r n e s *et al.* 1967, pp. 309—318). Special master programs can be employed in the headquarters with either money or volume as the measure for coordination.

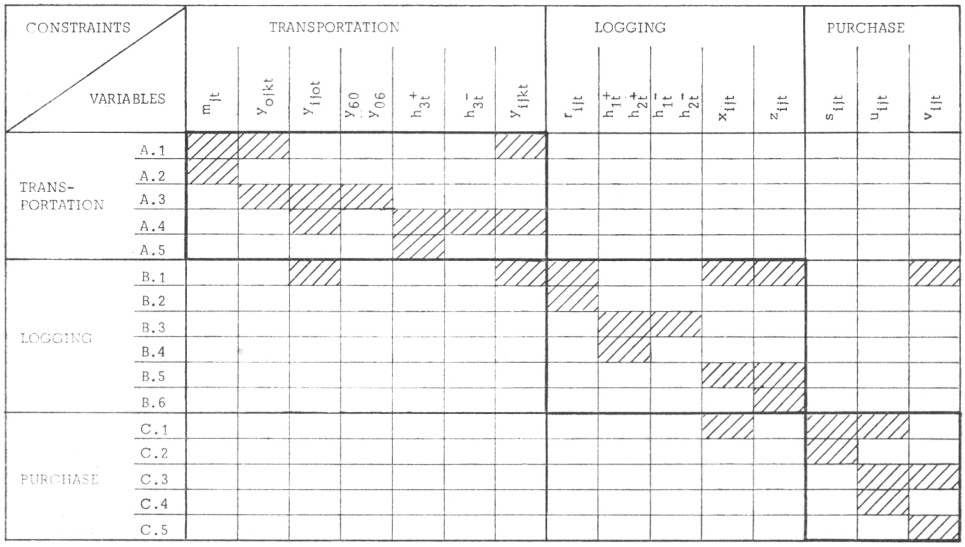


Figure 8. The constraint coefficient matrix with an incomplete block diagonal structure of the wood procurement linear program (a.1) in Appendix 31.

Kuva 8. Puunhankinnan lineaarisen ohjelman rajoituskertoimien epätäydellisesti diagonaalinen matriisi (ks. liitteen 31 ohjelma a.1)

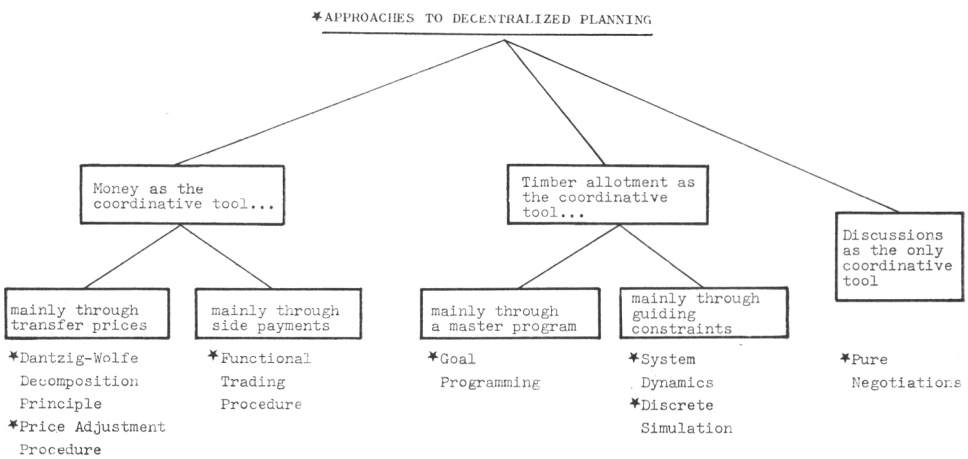


Figure 9. A classification of decentralized wood procurement approaches.

Kuva 9. Hajautetun puunhankinnan suunnittelun menetelmien ryhmittely.

Figure 9 shows the classification of the seven decentralized wood procurement planning approaches of this study according to the coordinative measures they employ. The Dantzig-Wolfe decomposition principle and the price adjustment procedure mainly apply transfer pricing. The functional trading procedure uses side payments. The goal programming approach includes a treatment of the managers' operational purchase, logging and transportation timber volume targets in the headquarters' master program. The system dynamics and discrete simulation procedures employ guiding constraints in the functional programs. Finally, there is the informal »method» of pure negotiations that is merely based on discussions between the function managers and the division head.

Figure 9 shows only the major coordinative tools each approach employs. We have seen already that the Dantzig-Wolfe algorithm is also based, except on transfer pricing, on the use of a master program. More detailed analyses would show that the functional trading procedure, system dynamics and discrete simulation approaches also require negotiations for coordination. The goal programming approach also employs guiding constraints.

In deeper analyses later in this chapter we will find that the approaches can be grouped in several other ways according to their properties. They may be iterative or noniterative, they may or may not employ linear programming in some form, etc. Except through technical properties they may assume somewhat different organizational patterns. For example, it may be primarily the timber division head or the managers that are responsible for assembling the final wood procurement plan. These properties are summarized in Table 2 of section 39. It also shows the origins of the seven approaches. The methods have been found in the literature of decentralization through decomposition or they are modifications of the traditional analytic or numeric (centralized) planning techniques. As a comparison, the most prevailing decentralized planning »method» in practice, that of pure negotiations, is also presented.

32. Approaches with Money as the Coordinative Tool

321. Dantzig-Wolfe Decomposition Principle

The decomposition methods originate from the need to divide large mathematical programming problems into parts. They have primarily been computational procedures. Thus most of the literature on decomposition algorithms is quite technical in nature. Kallio (1975 a; 1975 b) has good discussions of several decomposition algorithms for linear programs, for example. Jennergren (1972) has comprehensively studied decentralized resource allocation procedures in his dissertation. He discusses the mathematical methods of decentralization available today.

The tangential approximation approach by Geoffrion (1970, pp. 381—389) is related to the Dantzig-Wolfe algorithm. Jennergren (1972, p. 42) lists other methods, founded on the price adjustment idea. These are Lasdon's decomposition algorithm, the »local approach» of

Takahashi and the »generalized Lagrange method» by Everett. Geoffrion's large-step subgradient approach (Geoffrion 1970, pp. 389—395) and the primal decomposition algorithm for linear programs by Zschau (1967) relate to the functional trading procedure (Jennergren 1972, pp. 47—53). He also discusses a budget allocation approach by Ståhl and Ysander, the transfer pricing procedure of Hischleifer, and the decomposition algorithms by Weitzman, Kornai and Liptak; Benders, Rosen, and Kaul. Jennergren (1972, pp. 69—84) concludes that the methods of the Dantzig-Wolfe algorithm, the price adjustment procedure and the divisional trading approach are to be recommended. Therefore, of all the alternatives mentioned, we in this study consider only the three methods he suggests.

Before the Dantzig-Wolfe algorithm of 1961 decomposition methods have been based on gradient adjustment procedures. The convergence of these methods to optimum takes infinite iterations. Hass (1968, p. B 312) states that they are not useful tools for decentralized planning. Dantzig and Wolfe (1961, pp. 767—778) created their algorithm originally for decomposing large linear programming problems in order to reduce the costs of calculations. Since then it has been extended to nonlinear programs. But perhaps a more important extension has been its use in the economic theory of decentralization (Dantzig 1963, pp. 455—566). The algorithm and its application has been widely discussed in the literature (e.g. Atkins 1974, pp. 618—623; Baumol and Fabian 1964, pp. 1—32; Burton *et al.* 1974, pp. 297—301; Charnes *et al.* 1967, pp. 296—297).

The Dantzig-Wolfe decomposition algorithm is based on the use of transfer prices. It has been the first iterative procedure developed in a series of many using shadow prices to find an optimal resources allocation solution. Algorithms which resemble it have been developed since by Balas (1966, pp. 847—873), Hass (1968, pp. B 310—B 331), Whinston (1964, pp. 405—447) and others.

In section 12 we presented the Dantzig-Wolfe algorithm formulation for a general resource allocation problem with one nonautonomous supplier and several independent profit maximizing user departments. Here we wish to solve the specific wood procurement cost minimization problem where the corporate resource, timber, flows sequentially through three subunits. We consider a timber division where no subunit is subjected to another. The algorithm would have the following steps:

1. The timber division head announces a set of tentative internal prices for timber transferred from the purchase function to the logging function and from the logging to the transportation function. The transfer price is a revenue to the supplier function and a cost to the user function. The head asks the function managers about their supply (purchase and logging) and demand schedules (logging and transportation) given these prices.
2. Each manager solves his functional problem independently of the others and reports his optimal allocations and total functional costs (the transfer prices are not included in costs).
3. The headquarters uses the functional allocations and costs as inputs to a master program (3.1). The program finds the weighted average to the divisional allocations which yields the lowest timber division total cost. The program produces three sets of shadow prices for each timber grade and period. These would be announced as the new transfer prices.
4. The function managers solve their subproblems and report their allocations and costs to the division headquarters as in step 2. The iterations would continue until some master program would give the same solution as the previous one. From that point the shadow prices would not change in new iterations, either. The last iteration would produce the optimal convex combination of the allocations of all previous iterations.
5. At the execution step, the headquarters enforces the optimal timber allocation. The transfer prices do not play any role in the execution.

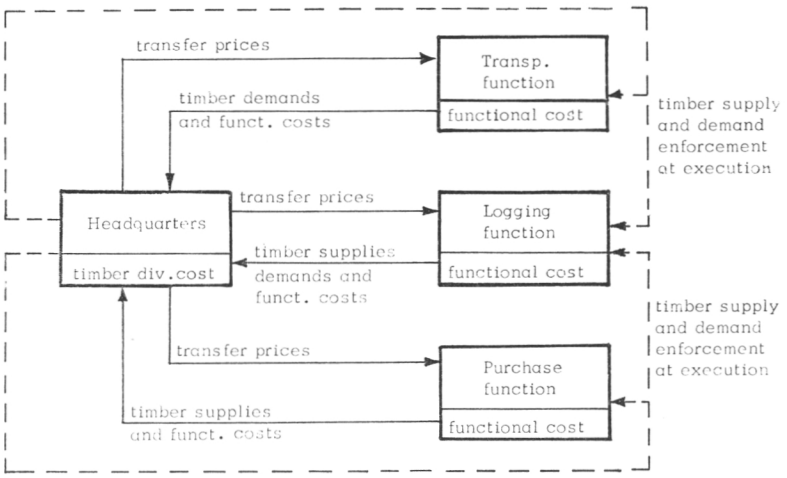


Figure 10. Information flows of the Dantzig-Wolfe decomposition algorithm
Notation: ——→ iterative flow
——→ noniterative flow

Kuva 10. Dantzig-Wolfe-dekompositioalgoritmin tietovirrat
Huom. ——→ *iteratiivinen tieto*
——→ *kertakaikkinen tieto*

Figure 10 shows that the Dantzig-Wolfe principle in the adjustment phase assumes two-way iterative information exchange between the function managers and the timber division head. In the execution phase, the head dictates the interfunctional timber transfers. In the Dantzig-Wolfe process, there are no information flows between the functions.

The master program would be:

(3.1) Minimize

$$(0) \qquad \sum_{h=1}^{3} \sum_{t=1}^{T} \sum_{n=1}^{N} hc_{ht}{}^{n} w_{ht}{}^{n} + \sum_{h=1}^{2} \sum_{t=1}^{T} \sum_{n=1}^{N} hc'_{ht}{}^{n} w'_{ht}{}^{n}$$

subject to

$$(1) \qquad \sum_{n=1}^{N} \bar{a}_{jt}{}^{n} w_{1t}{}^{n} - \sum_{n=1}^{N} \bar{b}_{jt}{}^{n} w_{2t}{}^{n} = 0$$

$$(2) \qquad \sum_{n=1}^{N} \bar{a}'_{jt}{}^{n} w'_{1t}{}^{n} - \sum_{n=1}^{N} \bar{b}'_{jt}{}^{n} w'_{2t}{}^{n} = 0$$

$$(3) \qquad \sum_{n=1}^{N} \bar{c}_{jt}{}^{n} w_{2t}{}^{n} - \sum_{n=1}^{N} \bar{d}_{jt}{}^{n} w_{3t}{}^{n} = 0$$

for $j = 1, \ldots, J$, $t = 1, \ldots, T$

$$(4) \qquad \sum_{n=1}^{N} w_{ht}{}^{n} = 1, \ \sum_{n=1}^{N} w'_{ht}{}^{n} = 1 \text{ for all } h \text{ and } t$$

$$(5) \qquad w_{ht}{}^{n}, w'_{ht}{}^{n} \geq 0 \text{ for all } h, t \text{ and } n$$

where

w_{ht}^n, $w'_{ht}{}^n$ = weight to be given to function h timber supply or demand schedule in period t at iteration n

hc_{ht}^n, $hc'_{ht}{}^n$ = wood procurement cost related to function h timber supply or demand schedule in period t at iteration n, mk

$\bar{a}_{jt}^n$ = computed purchase function supply of grade j stumpage purchased timber for logging in period t at iteration n, cu.m.

$\bar{b}_{jt}^n$ = computed logging function demand for grade j stumpage purchased timber in period t at iteration n, cu.m.

$\bar{a}'_{jt}{}^n$ = computed purchase function supply of grade j delivery purchased timber at the road side in period t at iteration n, cu.m.

$\bar{b}'_{jt}{}^n$ = computed logging function demand of grade j delivery purchased timber to the road side in period t at iteration n, cu.m.

$\bar{c}_{jt}^n$ = computed logging function supply of grade j timber for transportation in period t at iteration n, cu.m.

$\bar{d}_{jt}^n$ = computed transportation function demand for grade j timber from logging in period t at iteration n, cu.m.

$-\,-\,h$ = 1, 2 and 3 refer to purchase, logging and transportation.

The master program objective is to minimize the total timber division cost for iteration N+1. Constraints (1) equate the internal stumpage purchased timber supply and demand, and are supposed to produce the $J \times T$ shadow prices for the next iteration, $N+2$. Similarly, constraints (2) equate the delivery purchased timber supply and demand, and would result in another set of $J \times T$ shadow prices. Constraints (3) determine the equilibrium of the logging function's internal supply and the transportation function's demand. They produce the $J \times T$ internal prices for these transfers. Constraints (4) guarantee that for each function, the sum of the convex combination weights is one.

The internal timber demands of transportation and logging ($\bar{d}_{jt}$, $\bar{b}_{jt}$, $\bar{b}'_{jt}$) and supplies of logging and purchase ($\bar{c}_{jt}$, $\bar{a}_{jt}$, $\bar{a}'_{jt}$), relate to the computed values of the transportation, logging and purchase variables of program (a.1) in Appendix 31:

$$\bar{d}_{jt} = \sum_{i=1}^{I} \sum_{k=1}^{K} (y_{ijkt} + y_{ijot}) = \text{planned demand by transportation of grade } j \text{ timber from all forest areas to all own mills } k \text{ or to other firms } (o) \text{ in period } t, \text{ cu.m.}$$

$$\bar{c}_{jt} = \sum_{i=1}^{I} (\underbrace{x_{ijt} + z_{ijt}}_{\text{logging from own forest}} + \bar{b}'_{jt} + \underbrace{r_{ijt-1} - r_{ijt}}_{\text{road side inventories}}) = \text{planned supply of grade } j \text{ timber by logging for transportation in all forest areas } i \text{ in period } t, \text{ cu.m.}$$

$$\bar{b}_{jt} = \sum_{i=1}^{I} x_{ijt} = \text{planned demand by logging of grade } j \text{ stumpage purchased timber in all forest areas } i, \text{ in period } t, \text{ cu.m.}$$

$$\bar{b}'_{jt} = \text{planned demand by logging of grade } j \text{ delivery purchased timber in period } t, \text{ cu.m.}$$

$$\bar{a}_{jt} = \sum_{i=1}^{I} \overbrace{(u_{ijt}}^{\text{stumpage purchase}} + \overbrace{s_{ijt-1} - s_{ijt})}^{\text{stumpage inventories}}$$

= planned supply of grade j stumpage purchased timber for logging in all forest areas i in period t, cu.m.

$$\bar{a}'_{jt} = \sum_{i=1}^{I} v_{ijt}$$

= planned supply of grade j delivery purchased timber for logging in all forest areas i in period t, cu.m.

According to the organization of Figure 6 the storings of the timber to be delivered internally belong to the responsibilities of the logging and purchase managers as the suppliers. Therefore, the supplies depend not only on the logging ($x \ldots ; z \ldots$) and purchase ($u \ldots ; v \ldots$) variables but also on the desired timber inventory ($r \ldots ; s \ldots$) changes. The demands of the transportation and logging managers relate to the plain transportation ($y \ldots$) and logging ($x \ldots$) variables. The most problematic particle in the equations is the demand and supply of the timber from the delivery purchases ($\bar{b}_{jt}$, $\bar{a}'_{jt}$). The delivery purchase decisions are made by the purchase manager but they touch directly the logging manager's responsibilities of providing enough timber for transportation (see also constrains B.1 in Figure 8).

The Dantzig-Wolfe decomposition principle includes the assumption that the managers solve the functional problems quite independently of each other. Referring to the transportation objective (A.1)—(A.5) of program (a.1) in Appendix 31, the transportation manager would solve the following linear program:

(3.2) Maximize

(0) $$-(\mathrm{A}) - \overbrace{\sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} tp_{3jt}\, d_{jt}}^{\text{costs from int. transfers}}$$

subject to

(1) (A.1), ..., (A.5)

(2) $d_{jt} \geq 0$ for $j = 1, \ldots, J$; $t = 1, \ldots, T$

(3) all other variables ≥ 0

where

tp_{3jt} = trial transfer price of grade j timber to be delivered from logging to transportation in period t, cu.m.

d_{jt} is as $\bar{d}_{jt}$ above.

Correspondingly, referring to the logging objective (B) and constraints (B.2)—(B.6) of program (a.1) the logging manager would solve linear program:

(3.3) Maximize

(0) $$-(\mathrm{B}) + \overbrace{\sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} tp_{3jt}\, c_{jt}}^{\text{revenue from int. transfer}} - \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} tp_{2jt}\, b_{jt} - \overbrace{\sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} tp_{1jt}\, b'_{jt}}^{\text{costs from int. transfers}}$$

subject to

(1) (B.2), ..., (B.6)

(2) $c_{jt} \geq 0;\ b_{jt} \geq 0;\ b'_{jt} \geq 0$ for $j = 1, \ldots, J;\ t = 1, \ldots, T$

(3) all other variables ≥ 0

where

tp_{2jt}, tp_{1jt} = trial transfer prices of grade j stumpage or delivery purchased timber to be transferred from purchase to logging in period t, cu.m.

c_{jt}, b_{jt}, b'_{jt} are as $\bar{c}_{jt}$, $\bar{b}_{jt}$, $\bar{b}'_{jt}$ above.

Moreover, relating to the purchase function objective (C) and constraints (C.2)—(C.5) of program (a.1) the purchase manager's program would take form:

(3.4) Maximize

$$(0) \qquad -(C) + \overbrace{\sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} tp_{2jt}\, a_{jt}}^{\text{revenues from internal transfers}} + \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} tp_{1t}\, a'_{jt}$$

subject to

(1) (C.2), ..., (C.5)

(2) $a_{jt} \geq 0;\ a'_{jt} \geq 0$

(3) all other variables ≥ 0

where

a_{jt}, a'_{jt} are as $\bar{a}_{jt}$, $\bar{a}'_{jt}$ above.

Programs (3.1)—(3.4) clearly show the different positions of the functions in a Dantzig-Wolfe algorithm organization. Because the timber division as a whole is a cost center, the transportation function would not receive transfer prices for the timber it delivers outside the division, to the mills. It does not gain any revenues. On the contrary, it does not only confront the costs from its own activities but also must pay for the timber it »purchases» from the logging function. It faces costs from its own activities, and also from the internal procurement of both delivery and stumpage purchased timber originating from the purchase function. For the purchase function these internal deliveries bring revenues with which it wishes to cover the costs it faces. Thus the algorithm structure would make the purchase and logging functions profit centers, but the transportation subunit a cost center that has to carry not only its own costs but also the »costs» of the other two functions in the transfer prices. This is one view on the Dantzig-Wolfe principle: considering the transfer prices as real payments between the functions. Another way of looking at the internal prices would be to consider them as purely computational tools. The prices would be received by the function managers knowing that no real payments would follow them. But this assumption would destroy the whole idea of decentralization through transfer pricing. The information exchange would become a game without a purpose. The motivation of the function managers would break down completely. We therefore consider the transfer prices of the algorithm as real prices susceptible for payment.

The Dantzig-Wolfe algorithm, like the other approaches of this study, includes the assumption that all the basic data are collected in the functions. The function managers process these data and the results are further processed in the headquarters. Setting up the Dantzig-Wolfe procedure should not be too difficult. Standard linear programs for the functions can be developed and the master program is easy

to formulate. The function managers of the Finnish forest products firms have, however, quite little knowledge about the assumptions and restrictions imbedded in the use of the linear programming technique. They would need some training in the subject and probably some of the existing forest technicians should be taught to run and interpret the models. New personnel hardly needs to be employed.

The basic collection would not be more difficult than for a standard (centralized) linear program. Modifying of the data to a proper input format is fast. Examples are found in the IBM computers' MPSX linear programming library package. The machine processing of each relatively small-sized functional program does not take much time. Information produced by the functions is sent to the headquarters where it can be easily processed.

From all this we can conclude that in the Dantzig-Wolfe decomposition approach the *costs* of setting up and information processing in each decision unit are low. But the information exchange is costly because the procedure requires many iterations. For practical problem solving perhaps only 2—4 iterations should be allowed. The computational experiments by K e i p i (1976, pp. 193—201) with the Dantzig-Wolfe algorithm concerned a two-decision-unit timber allocation organization with one time period. Thus it dealt with one set of transfer prices for each of its five timber grades. The algorithm took over ten iterations before converging. The case firm of this study concerns three decision subunits and four time periods. There should be a total of twelve sets of transfer prices for each of the five timber grades. It is to be expected that, in order to converge, the Dantzig-Wolfe algorithm would take even more iterations in the case of this study, than for the simpler aforementioned example by Keipi. Many iterations are expensive, slow down the planning process and make the function managers sloppy in their replies to the changing transfer price suggestions by the headquarters.

The Dantzig-Wolfe decomposition principle usually employs the linear programming technique although nonlinear programming applications are possible, too. Standard linear programs are poor for uncertainty analyses because increasing the number of state variables quickly enlargens the model's size. Uncertainties in constraints can only be handled through repeated sensitivity analyses. The Dantzig-Wolfe procedure is complicated, which makes the uncertainty analyses very difficult to carry out. The approach's refined structure does not allow the use of subjective »feels» of the function managers if some important data are missing. It is not a robust technique. We can conclude that the procedure is not too *applicable* in rapidly changing, uncertain market conditions. The flexibility is improved by the fact that besides an optimal solution, the master program is able to produce most of the feasible wood procurement alternatives even in the special business situations when the overall feasible solution space is small.

The applicability of a planning procedure not only depends on its flexibility, but also on how well it enhances the managers' motivation. The motivation of the function managers is good in the plan preparation phase because they can report their sugges-

tions as a response to alternative transfer prices without any restrictions from each other or the division head. The problem in the planning phase is a feeling of inequality among the managers, since the purchasing and logging functions are treated as profit units, whereas the transportation function is a cost unit with no revenues involved. This lowers the transportation manager's motivation for good performance. In the execution phase it is the timber division head who determines the wood procurement schedule, not the function managers. There is no automatic mechanism, imbedded in the approach, which would lead the managers to come to this schedule of their own volition. At this point motivation of the managers to implement the »decentralized» plan is seriously lowered (Charnes *et al.* 1967, p. 297).

The algorithm does not totally exclude the possibility for functional cheating. Cheating would prevent the algorithm from leading to *global optimum*. A manager may possibly deliver false timber allocation or cost information to the head, hoping that the final wood procurement schedule would become more advantageous to him. Jennergren has studied cheating under the algorithm. He states that the optimal cheating problem to an individual manager is so difficult mathematically that he is not expected to be able to solve it except in simple cases (Jennergren 1972, pp. 132, 137). The danger of cheating may then not be great.

The algorithm's master program includes an optimization routine. The algorithm is bound to converge to a global optimum. It may not, however, produce the very overall optimum solution if the subunit managers do not optimize their problems but report only satisfactory allocations to the headquarters (Jennergren 1972, p. 62). A well-known problem of the iterative decomposition approaches is the phenomenon of alternative optima (Hadley 1963, p. 99). It evolves when the subunit objective functions are not strictly concave. (cf. Jennergren 1972, p. 40; Kortanek 1972, p. 74). Also, this may prevent the Dantzig-Wolfe algorithm from converging to an optimum.

To summarize, the Dantzig-Wolfe decomposition principle is an expensive procedure due to the many information exchange iterations it requires. It is only a fairly applicable approach for functionally decentralized wood procurement planning due to the mediocre performance in changing market conditions and the low motivation it provides to the managers. Its greatest advantage is that it includes a mechanism that should lead to a globally optimal wood procurement plan.

322. Price Adjustment Procedure

It is appealing to think a timber division as a miniature economy. The internal log supplies and demands would be direct functions of their prices. The timber division head could act as the famous »invisible hand» of Adam Smith in guiding the functional timber supplies and demands proposed by the function managers towards an equilibrium. This guidance would occur through transfer prices. The price adjustment procedure is an iterative process based on these ideas. It has the following steps (cf. Jennergren 1972, pp. 30—31):

1. The timber division head announces a set of tentative internal prices for timber to be transferred from the purchasing to the logging function and from the logging to the transportation function. He asks the purchasing and logging managers about their supply and the logging and transportation managers about their demand schedules given these prices.
2. The function managers solve their allocation problems and report their timber supplies and demands back to the division headquarters.
3. The timber division head compares the supplies and demands. If the internal supply is greater than the demand he lowers the transfer price. If the demand is greater he raises the price. The head announces the new set of prices.
4. The function managers solve the sub-problem and report their optimal allocations back to the division as in (2). The iterations continue until the internal supplies and demands match.
5. At the execution step the timber division head announces the transfer prices of the last iteration N. The function managers allocate timber as they indicate in the last iteration.

The procedure is similar to the Dantzig-Wolfe decomposition principle but more informal. The »master program» for computing the transfer prices is:

$$tp_{hjt}^{n+1} = \max \{0;\ tp_{hjt}^{n} + F_h^n (g_{hjt}^{n} - g_{h-1jt}^{n})\}$$

where

tp_{hjt}^{n+1} = trial transfer price of grade j timber ($j = 1,\ldots, J$) in period t ($t = 1,\ldots, T$) for the demanding function h ($h = 1,2$ relate to stumpage or delivery purchased timber transfers between purchase and logging; $h = 3$ transfers from logging to transportation at iteration $n+1$, mk/cu.m.

tp_{hjt}^{n} = trial transfer price of grade j timber in period t for demanding function h at iteration n, mk/cu.m.

g_{hjt}^{n} = internal grade j timber demand in period t of function h at iteration n, cu.m.

g_{h-1jt}^{n} = internal supply of grade j timber in period t to demanding function h at iteration n, cu.m.

F_h^n = adjustment factor expressing the size of the movement from a transfer price related to demanding function h at iteration n to a new price at iteration n+1; $F_h^n \geq 0$ for $n = 1,\ldots, N$ and $F_h^n = 0$ for $n = N+1$, (mk/cu.m.²).

The speed at which the approach converges to equilibria of internal demands and supplies depends on the choice of the adjustment factor F_h^n. The procedure does not suggest any computational ways of finding its proper value. The appropriate value is determined in course of the iterations. The procedure assumes that the function managers solve their sub-problems independently of each other. If the function managers employed linear programming along the lines of (A), (B) and (C) in program (a.1) in Appendix 31, their problems would be the same as (3.2), (3.3) and (3.4) for the Dantzig-Wolfe approach.

The *cost* of setting up the price adjustment procedure is not high. There are no new models to be formulated for the functional or divisional problem solving. The existing personnel needs no special training, new workers need not be employed for starting the procedure. The information collection and processing in the functions may be similar to that of the Dantzig-Wolfe algorithm. The processing in the headquarters is simple. The information exchange takes place only between the functions

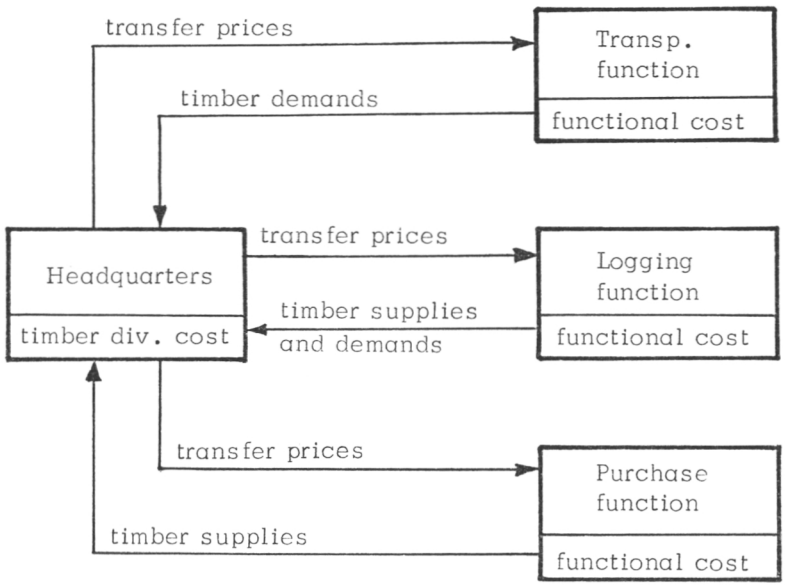


Figure 11. Information flows of the price adjustment approach. The flows are iterative.

Kuva 11. Hintasääntelymenetelmän tietovirrat. Tieto on iteratiivista.

themselves (Figure 11). This is one more similarity with the Dantzig-Wolfe algorithm. The price adjustment procedure requires many iterations. This makes it a fairly expensive method to operate.

The many iterations cause the price adjustment procedure to be slow which lessens its *applicability* in changing market conditions. Ideally, a decentralized planning approach produces many feasible overall wood procurement solutions. This procedure stops when the first feasible schedule is found. Because the method is robust the managers can include their subjective insights of the uncertain planning situations in the functional wood procurement schedules. The function managers can, under the price adjustment procedure, sense much individual freedom in both the adjustment and implementation phase. This is apt to motivate them to good performance. But in the same fashion as in the Dantzig-Wolfe algorithm, the transportation manager may feel discriminated when leading a cost center while the other two functions are treated as profit centers. This diminishes his incentives to good management.

The timber division head has no *optimization* routine involved in his coordinating of the wood procurement. The first satisfactory solution that equates the internal timber supplies and demands is accepted. Therefore, an overall optimal plan would be reached only by accident. The procedure does not necessarily exclude the possibility for functional cheating that would prevent the approach from reaching a global optimum. The incentives to cheating are lower than in the Dantzig-Wolfe algorithm,

however, because the functional or timber division costs are not emphasized in the information exchange process. Developing cheating strategies is not easy because there is no direct communication between the functions.

To summarize, the price adjustment procedure is only fair in its cost performance, fairly well applicable to the wood procurement problem of this study and poor in striving for global optimality.

323. Functional Trading Procedure

The basic idea behind the functional trading procedure is that the functions can gain from their mutual coordination. The function managers identify alternative wood procurement schedules. When each manager has evaluated his function's costs of the expedient alternatives he starts trading with the other managers. The managers share the gains from transferring from some initial wood procurement schedule to a better alternative.

The procedure is as follows (cf. Jennergren 1972, pp. 53—54):

1. The timber division head assigns arbitrarily schedules for timber transfers from purchase to logging and from logging to transportation. These schedules could be adaptations of the past, tested practices. The function managers are then instructed to identify and undertake profitable new schedules through trading.
2. The function managers identify profitable new schedules by solving the functional sub-problems. They determine how their functional costs would vary in response to possible changes in the schedules. Alternatively, an approximate »feeling» suffices for how the costs would vary.
3. In order to make the schedule adjustments profitable for each function the mutual gains from these would be shared. The sharing would be settled through trading between the managers. The functions may be instructed to identify profitable trades entirely on their own, by communicating with each other. In that case, the timber division head does not participate in the adjustment phase except for announcing the initial schedules for timber to be transferred from purchase to logging and from logging to transportation. This is the procedure applied in this study. Alternatively, the head may act as an active negotiator.

In the functional trading procedure's description of Figure 12 the headquarters does not participate in planning after having announced the initial suggestions for internal timber supplies and demands. The approach does not involve any kind of a master program. The approach does not give suggestions of the techniques with which the functional problems would be solved. Referring to program (a.1) of Appendix 31, the transportation manager could initially formulate the following trivial linear program:

(3.5) Minimize

(0) (A)

subject to

(1) (A.1), ..., (A.5)

(2) $d_{jt} = C_{jt}$ for $j = 1, \ldots, J$; $t = 1, \ldots, T$

(3) all variables ≥ 0

where

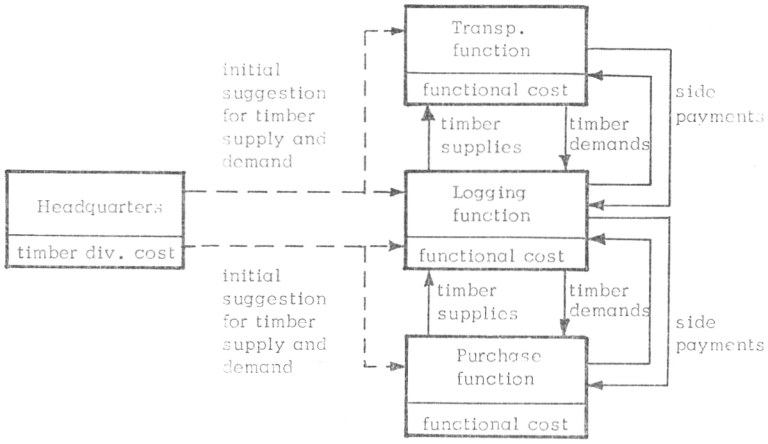


Figure 12. Information flows of the functional trading approach (when the headquarters does not act as a mediator).

Notation: ——→ iterative flow
——→ noniterative flow

Kuva 12. Korvausmenettelyn tietovirrat (kun metsäpäällikkö ei toimi suunnittelussa välimiehenä)

Huom. ——→ *iteratiivinen tieto*
——→ *kertakaikkinen tieto*

C_{jt} = initial suggestion by the headquarters for timber grade j transfer from logging to transportation in period t, cu.m.

(A), (A.1),..., (A.5) are as in (a.1); d_{jt} is as in (3.2).

The logging manager would solve problem:

(3.6) Minimize

(0) (B)

subject to

(1) (B.2),..., (B.6)

(2) $c_{jt} = C_{jt}$ for $j = 1,...J;\ t = 1,...,T$

(3) $b_{jt} = A_{jt}$ for $j = 1,...J,\ t = 1,...,T$

(4) $b'_{jt} = A'_{jt}$ for $j = 1,...J;\ t = 1,...,T$

(5) all variables ≥ 0

where

A_{jt} = initial suggestion by the headquarters for grade j stumpage purchased and own timber transfers to logging in period t, cu.m.

A'_{jt} = initial suggestion by the headquarters for timber grade j delivery purchases in period t, cu.m.

(B), (B.2),..., (B.6) are as in (a.1); b_{jt}, b'_{jt} are as in (3.3); C_{jt} is as in (3.5).

The purchase manager's linear program would be:

(3.7) Minimize

(0) (C)

subject to

(1) (C.2),. . ., (C.5)

(2) $a_{jt} = A_{jt}$ for $j = 1,\ldots, J;\ t = 1,\ldots, T$

(3) $a'_{jt} = A'_{jt}$ for $j = 1,\ldots, J;\ t = 1,\ldots, T$

(4) all variables ≥ 0

where

(C), (C.2),. . ., (C.5) are as in (a.1); a_{jt}, a'_{jt} are as in (3.4); A_{jt}, A'_{jt} are as in (3.6).

The managers now minimize the functional costs as they in the Dantzig-Wolfe decomposition and price adjustment approaches maximized their revenues. The functional trading procedure does not incorporate transfer prices. After solving programs (3.5)—(3.7) some of the managers may find them infeasible. Or high shadow prices related to the headquarters' suggestive internal transfer constraints probably indicate that the managers could gain by changing these transfer allocations.

Z s c h a u (1967, p. 30) has identified and developed computational schemes for directional derivatives to readjust the subunits' production profitably. Unfortunately, these schemes are very complex. In practice, the shadow prices connected with programs (3.5), (3.6) and (3.7) give the best directions for rearranging the wood procurement schedules. The amounts of readjustments would be found through sensitivity analyses. The problem of dividing the gains still remains. Z s c h a u (1967) fails to explain how it should be done in his primal decomposition algorithm. This is one reason why Jennergren introduced his divisional trading procedure — a modification of the algorithm. He solves the problem simply by stating that the dividing of the payoffs should be settled through trading as we have proposed in this study (J e n n e r g r e n 1972, p. 54).

The trading would start by, for example, the transportation manager solving program (3.5) without constraints (2). He would then suggest new internal transfers $\bar{a}_{jt}$ and a side payment to follow the new transfers. The logging and purchase managers would, in turn, solve their programs (3.6) and (3.7) without constraints (2), (3), (4), and (2), (3), respectively. The suggested side payments would be included in the programs' objective functions. The managers would give their responses to the readjustment proposals and their own countersuggestions for reallocations. This trading is impossible to describe further in a concise mathematical form.

The procedure is simple to set up. It does not require creating any special types of functional programs. When trading takes place only between the functions themselves as in Figure 12 no master program is needed. The existing personnel does not need any extra training, new personnel does not need to be employed. This makes its setting up cheap. Similarly the operating *costs* are low. The basic data collection in the functions is not more complicated than for the currently used wood procurement planning approaches of the Finnish forest products firms. The manual and machine data processing in the functions does not need to be elaborate. In the headquarters the initial suggestion for internal timber transfers is based on historical data. Thus no information processing is needed in the main office. The

information exchange is simplified by the exclusion of the headquarters from the negotiations. The exchange may not be cheap, however, because a gaming manager may refuse to deliver information. Or the dividing of gains caused by changed allocations through side payments may be hard to agree upon. This can require much of the managers' time.

The approach is an *applicable* procedure for changing business conditions. The only problem may be the slowness of information exchange. The managers can employ uncertainty analyses with it. The executives' subjective opinions can be included in the analysis in situations where more precise data are missing. The method improves the function managers' motivation by giving them a sense of freedom. None of the managers is subjected to the others. The trading is based on negotiations and leads easily to bargaining. The changed allocations and side payments may indicate rather the bargaining skills than operational efficiency of each function manager. The managers' drive for high side payments may be reduced by the fact that the timber division head, receiving the functional cost information at the plan execution, is not interested in the costs that include the side payments but the »pure» functional costs. The fact is, that in the framework of this study, managerial freedom is seen more as the right to participate in the whole timber division's decision making than as a possibility to separate a function financially from the rest of the other functions.

Whether the procedure would lead to an *optimal* solution for the timber division as a whole depends on how the splitting of the benefits is related to the level of reallocation needed to create the gains. Unfortunately, there is no mechanism that would guarantee the optimization of the whole wood procurement process. The method offers a chance of functional cheating: of the delivery of misleading or exaggerated information concerning the monetary gains or losses due to the reallocations with other functional managers.

To summarize, the price adjustment procedure is cheap to set up and operate. It is a well applicable approach for our purposes because it is flexible in use and provides good motivation for the function managers. Unfortunately, it is incapable of producing a globally optimal wood procurement solution.

33. Approaches with Timber Allotment as the Coordinative Tool

331. Goal Programming

The decentralized wood procurement planning could be conceived as a process of fitting together the often deviating operational (or financial) goals of the timber division head and the independent function managers. The division head usually sets the main goals. The desires of the function managers form the subgoals of planning. Kallio (1977, pp. 13—17) presents three approaches for multi-

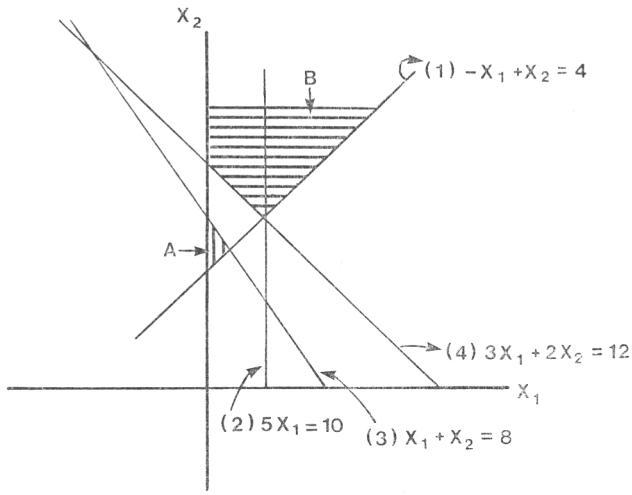


Figure 13. Example of an infeasible linear programming solution space where the potentially feasible areas A and B do not intersect.

Kuva 13. Esimerkki lineaarisen ohjelman ratkaisualueen jakaantumisesta kahteen toisensa poissulkevaan, osittain käypään osa-alueeseen A ja B.

objective decisions: (1) an application to utility theory, (2) goal programming and (3) fuzzy sets — a behavioral search application. Johnsen (1968, pp. 392—468) discusses five approaches to solving multi-goal problems: (1) goal programming, (2) econometric goal aggregation (e.g. through regression analysis), (3) utility multi-goal models, (4) simulation and (5) behavioral search models. In the econometric aggregation the multiple goals are artificially reduced to one. Johnsen does not recommend this transformation. According to him, »psychological studies of decision situation have shown that man is better off with a few objectives that he can handle than with one artificial measure». (Johnsen 1968, p. 468). The utility multigoal approach means comparing the utilities of several persons in order to combine them into one function. But the combining of the individual utilities is subjective. The form of the aggregate function depends on the person who constructs it. Interpersonal utility comparisons are not acceptable (Halter and Dean 1971, p. 52). Simulation includes a group of numeric mathematical models. Two possible simulation approaches are presented later. The behavioral search procedure are heuristic by nature. They still lack clear formulations. At present they are not useful for analyses of the type in this study. Of the five approaches for solving multigoal problems *goal programming* is left for further analysis.

The inventors of goal programming are probably Charnes and Cooper (1961, pp. 215—223). It has been developed further particularly by Ijiri (1965). It has been applied, for example, by Jääskeläinen (1970, pp. 99—122; 1972, pp. 149—176) and Lee (1972). The starting point for goal programming is the observation that mathematical programming constraints can be considered as a special case of goals (cf. Simon 1964, Ijiri 1965, p. 38; Lee 1972, p. 20). The goal constraints may be so conflicting that there is no feasible solution space. By taking some of the constraints into the objective function the solution can become feasible and at least part of the goals be attained.

We illustrate the application of goal programming for a linear programming problem with conflicting goal constraints (cf. L e e 1972, p. 16):

(3.8) Minimize

(0) $x_1+{}^1/_2\ x_2$

subject to:

(1) $-x_1+x_2 \geq 4$ } outside world restrictions to wood procurement

(2) $5x_1 \leq 10$ }

(3) $x_1+x_2 \geq 8$ } managerial wood procurement constraints

(4) $3x_1+2x_2 \leq 12$ }

(5) $x_1,\ x_2 \geq 0$

From Figure 13 it is evident that the problem does not have a feasible solution space. The potentially feasible areas of A and B do not intersect. The management naturally in the first place seeks a feasible solution: infeasible solutions are worthless. Therefore, the above objective function is rejected and a new one is formed:

Min $\left| x_1+x_2-8+3x_1+2x_2-12 \right|$

In this function deviating from the managerial wood procurement constraints (3) and (4) is allowed and these deviations are minimized. No adjustments are possible in constraints (1) and (2) because the management cannot affect them. This new objective function is not very operational. We thus reformulate the problem so that it can be solved through the simplex algorithm without changing its meaning:

(3.9) Minimize

(0) $s_3^+ + s_3^- + s_4^+ + s_4^-$

subject to:

(1) $-x_1+x_2 \geq 4$

(2) $5x_1 \leq 10$

(3) $x_1+x_2-s_3^++s_3^- = 8$

(4) $3x_1+2x_2-s_4^++s_4^- = 12$

(5) $x_1,\ x_2,\ s_3^+,\ s_3^-,\ s_4^+,\ s_4^- \geq 0$

The goal deviation variables $s.^-$ and $s.^+$ are related to the slack and surplus variables of linear programming. In order to be able to solve the new problem through the goal programming techniques, $s.^+$ and $s.^-$ must be given coefficients that show the priorities of minimizing their values. Then the objective function with two specific goals could get form:

Min $mg_1(s_3^+ + s_3^-) + mg_2(s_4^+ + s_4^-)$

where $mg_1 \ggg mg_2$ or $mg_2 \ggg mg_1$. Mark "$\ggg$" means that the product of the priority factor (often called preemptive priority factor) to the left of it and the coefficients of the associated variables is always greater than the product of the factor to the right and the coefficients of the appropriate variables. (I j i r i 1965, p. 46.)

In decentralized wood procurement planning, the managerial goals (corresponding to s_1^+ and s_1^- of (3.9)) could be volume and cost targets the function managers set for themselves as discussed in Appendix 13. We see immediately an advantage of goal programming: the objective function variables do not need to be unidimensional. They can be expressed, for example, both in timber quantity and money terms.

Appendix 32 shows an example objective function (a.2') for a wood procurement goal program with hierarchical targets. In the example, the first priority is given to avoiding the mills' raw material shortage in any quarter of the year. This goal is in the interest of the transportation manager. It appears in the efforts of minimizing the chances of the mills to operate at less than capacity (m_{jkt}^-) and the possibility of the timber mill inventory to amount to less than a bufferstock (m_{jkt}°). In order to guarantee smooth deliveries of timber to the mills during every quarter there must exist some minimum road side inventories of wood. The second priority relates to this. The logging manager is responsible for avoiding road side timber inventory shortage (r_{jt}^-). The third priority associates with attaining a desired stumpage inventory in the end of the year in order to guarantee the continuity of wood procurement in the future periods. The avoiding of the stumpage inventory shortage (s_{j4}^-) belongs to the responsibilities of the purchase manager. All the targets are given weights. These weights are the shortage costs which vary from grade to grade (and quarter to quarter).

The fourth and fifth priorities are given to the effort of keeping the resources employed at their normal capacities by the logging and transportation managers. The over- or underemployment of felling manpower, hauling equipment and transportation trucks is given a penalty cost (hc.. or kc..). The sixth priority concerns keeping the money spent within the variable cost budget given by the top management to the division head. The seventh priority deals with keeping the periodic harvest from the firm's own forest below or at the level of the maximum cutting plan. In this example the objective function contains seven goals. The number and order of goals could, of course, differ from these in other case firms.

This type of goal program with preemptive priority factors is a rough procedure. When an upper goal in the hierarchy is not completely reached none of the lower targets can be attained, either. Much information is unnecessarily lost. The outcome is apt to improve if the objective function coefficients were not hierarchical. We suggest a goal program (a.2) in Appendix 32. Its objective function coefficients are the opportunity costs, shadow prices, from the goal deviations.

Geoffrion (1970, pp. 381—389) has presented his tangential approximation decomposition approach where the headquarters' master program, like the goal program, utilizes the shadow price information of the subunits' program solutions. In the tangential approximation approach, the shadow prices relate to the internal corporate resource transfer suggestions by the headquarters. In the goal programming procedure they would concern the function managers' own production targets. Geoffrion's procedure is iterative. The goal programming approach is non-iterative which is an important advantage. We do not go deeper into analyzing Geoffrion's approach because Jennergren (1972, pp. 69, 83—84) considers it inferior to the three already analyzed decentralized planning approaches of this study: the Dantzig-Wolfe decomposition principle, the price adjustment procedure and the (functional) trading approach. Also the master program of the algorithm of Benders (1962, p. 244, 248) employs shadow prices of the subprograms. Jennergren (1972, p. 81) also considers that procedure inferior to the three approaches he recommends. He states that like most other decomposition algorithms, it appears mainly a computational device not always applicable to solving decentralized resource allocation problems. The decentralized wood procurement planning through goal programming could have the following steps (cf. Figure 14):

1. The timber division head asks the function managers to deliver the outside world restrictions to the functions' wood procurement, their volume and cost targets and the associated opportunity costs of not attaining them, for the planning period.
2. The managers deliver information to each other about their limits for internal timber demands from and supplies to the other functions.

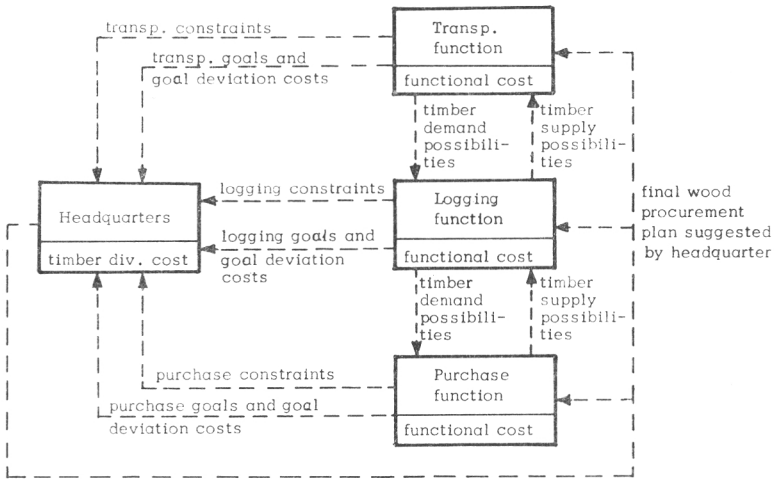


Figure 14. Information flows of the goal programming approach. The flows are noniterative.

Kuva 14. Tavoiteohjelmoinnin tietovirrat. Tieto on kertakaikkista.

3. The managers solve their functional problems, based on them set their operative goals and deliver the constraints, targets and opportunity costs to the timber division head in the executives' meeting.
4. The meeting checks the targets and the opportunity costs related to them and the head's overall divisional goals.
5. The goal programming problem, the constraints and objective function of which are given by the function managers and approved by the division head, is solved in the headquarters.
6. The results are discussed in the executives' meeting; necessary changes are made and the final plan for implementation is announced by the division head.

The procedure allows the function managers freedom to solve their subproblems. If linear programming is applied the functional problems resemble those of (3.5), (3.6) and (3.7). The headquarters' suggestive timber transfer constraints of (2), (2)—(4) and (2)—(3) respectively, would be replaced by guiding restraints from the other functions. The transportation manager's problem would be:

(3.10) Minimize

(0) (A)

subject to

(1) (A.1), . . . , (A.5)

(2) $d_{jt} \leq C_{2jt}$ for $j = 1, \ldots, J$; $t = 1, \ldots, T$

(3) all variables ≥ 0

where

C_{2jt} = maximum internal transfer of grade j timber from logging in period t, cu.m.

(A), (A.1),. . . , (A.5) are as in (a.1); d_{jt} is as in (3.2).

The logging manager's program would be

(3.11) Minimize

(0) (B)

subject to

(1) (B.2),. . . , (B.6)

(2) $c_{jt} \geq C_{3jt}$ for $j = 1,\ldots, J;\ t = 1,\ldots, T$

(3) $b_{jt} \leq A_{1jt}$ for $j = 1,\ldots, J;\ t = 1,\ldots, T$

(4) $b'_{jt} \leq A'_{1jt}$ for $j = 1,\ldots, J;\ t = 1,\ldots, T$

(5) all variables ≥ 0

where

C_{3jt} = minimum internal transfer of grade j timber to transportation in period t, cu.m.

A_{1jt} = maximum internal transfer of grade j stumpage purchased and own timber from purchase in period t, cu.m.

A'_{1jt} = maximum internal transfer of grade j delivery purchased timber from purchase in period t, cu.m.

(B), (B.2),. . . , (B.6) are as in (a.1); c_j, b_{jt}, b'_{jt} are as in (3.3).

The purchase manager's linear program would be formulated as:

(3.12) Minimize

(0) (C)

subject to

(1) (C.2),. . . , (C.5)

(2) $a_{jt} \geq A_{2jt}$ for $j = 1,\ldots, J;\ t = 1,\ldots, T$

(3) $a'_{jt} \geq A'_{1jt}$ for $j = 1,\ldots, J;\ t = 1,\ldots, T$

(4) all variables ≥ 0

where

A_{2jt} = minimum internal transfer of grade j stumpage purchased and own timber to logging in period t, cu.m.

A'_{2jt} = minimum internal transfer of delivery purchased grade j timber to logging in period t, cu.m.

(C), (C.2),. . . , (C.5) are as in (a.1); a_{jt}, a'_{jt} are as in (3.4).

The guiding constraints prevent a function manager from actions that would result in infeasibilities in the other, timber supplier or demander functions' programs. Thus they harmonize the functional goals in the goal program. Through the guiding constraints, the function managers can affect each others' planning. Also the timber division head has a good position in coordinating

the functional propositions through the goal program as a master program. Appendix 32 presents a goal program (a.2) for the wood procurement planning problem of this study. Its objective function coefficients are the shadow prices from not attaining the function managers' goals. The goals of the transportation manager are grouped under (A), those of the logging and purchase managers under (B) and (C), and the target of the timber division head under (D).

The program's constraints are derived directly from the outside world restrictions to the functional subproblems: constraints (1)—(3), (5)—(10) and (12)—(13). Or they constitute the interfunctional supply-demand equilibrium conditions: constraints (4) and (11), or they reflect the outside world restrictions to the division as a whole: constraint (14). The program's objective function takes its final form in negotiations. Its ingredients come from the managers and the head. The negotiations differ from those of the functional trading procedure: money is not used as a means to trade with rights, and the division head participates in the discussions. Due to the negotiations the information exchange is abundant, aiding the successful formulation of the goal program.

The set-up of the goal programming approach may be somewhat more *costly* but the operating much cheaper than those of Dantzig-Wolfe algorithm. The creating of the goal program demands that linear programs first be formulated to the functions. Most of the goal program restraints are based on the constraints of the functional programs. In goal program (a. 2) of Appendix 32 these are (A. 1)—(A. 5), (B. 2)—(B. 6) and (C. 2)—(C. 5). Setting the other goal program restraints (B. 1) and (C. 1) requires cooperation of the function managers, creating restraint (D. 1) is the task of the timber division head. The goal program's objective function formulation requires negotiations between all the four executives. Cooperation between function managers is also needed when determining the functional programs' guiding constraints. Both the function managers and the division head need some training in order to understand the philosophy behind linear and goal programming. New personnel would possibly need to be employed to formulate and operate the often sizable goal program.

The basic data collection in the functions would not be more difficult than in the traditional planning processes of Appendix 11 used today. The manual wood procurement data processing would not be more expensive than that for the other approaches of this study. The machine processing in the functions could involve solving of intermediate size linear programs but also some less sophisticated techniques could be applied. The goal program to be solved in the headquarters can be quite large. Appendices 31 and 32 show that it would include more elements than the corresponding linear program. Therefore, the *costs* of its solving can be high. The solving of the goal program and the preceding information transfers from the functions to the headquarters are a one-time effort. The goal programming approach is a noniterative procedure. Therefore, its total operating costs are lower than those of the three previously discussed decentralized wood procurement planning approaches.

The procedure being fast to operate, is *applicable* for wood procurement planning in rapidly changing stumpage and delivery purchase, and resource employment conditions. The approach requires the formulation of the functional linear programs

but not necessarily their solution. The solving is not required if the managers can quite accurately determine their goals through less formal techniques. This is possible if they have a good feel of the decision situation. It is not required if the opportunity costs related to the goals are defined directly by the outside market forces. This is often the case. One example of it is goal program (a. 2) of Appendix 32. The goal program makes a robust master program. It is capable of producing feasible solutions even when the managers' goals are highly conflicting. The bottlenecks of wood procurement that normally could cause infeasibilities can be overcome by employing slack and surplus variables. One of the advantages of goal programming is that acceptable results are produced even when detailed cost or productivity data are uncertain or even missing.

The function managers can grasp the idea behind goal programming easily. They are used to consider a wood procurement plan as a set of well defined goals to aim at. They are asked to determine their functional goals as they see them. The goals are expressed in terms of activity volumes, inventory volumes, costs, or resource quantities, whatever way they want to use. In a forest products firm it is natural that the function managers have their own ideas about their feasible and desirable work targets for a planning period. In the goal programming approach the managers can express these ideas about the targets. They can feel that in the planning process their opinions are heard and taken into consideration. They are all part of it. Their motivation is likely to be improved. In goal programming, the wood procurement problem is solved instantaneously and as a whole. A manager does not need to adjust his functional goals continuously to the solutions of other managers as, for example, in the three iterative approaches of the previous sections. He is free to make his own decisions. On the other hand, a function manager can become frustrated if it is evident that the other managers' goals are preferred to his goals. Possibly he is not able to get his voice much heard in the final putting together of the whole procurement plan. The level of consideration of individual managers' goals depends much of the timber division head but also on the decisions of the executives' meeting about the final plan.

Goal programming, like other analytical mathematical programming methods, has a systematic *optimum* seeking mechanism. Since it is closely related to linear programming the simplex algorithm can be used for solving it. Linear programming can be considered as a special case of goal programming with only one minimization or maximization goal. In fact, if the functional targets have been well set, decentralized wood procurement through goal programming can lead to the same globally optimal wood procurement schedule as centralized wood procurement through linear programming. The task of the guiding constraints is to aid to the production of proper targets. Much depends also on how well the weights in the goal program depicting the costs of not reaching the targets reflect the opportunity costs to the timber division as a whole. The iterations of the algorithm of B e n d e r s (1962, pp. 244, 248) aim at the globally best shadow prices. The goal programming approach is nonitera-

tive: thus the first and only weights should be as good as possible from the point of view of the whole. The more independent the functions, the better the weights tend to be. The opportunity costs originating from the firm's outside market as in the goal program of Appendix 32 are usually the best weights for the division as a whole.

The function managers have possibilities for cheating. They may deliver biased information about their attainable goals and about the opportunity costs of not attaining them. The goals are weighed in the goal program according to the costs. The managers may wish to attach higher costs to their targets than the actual opportunity costs are. This would lead to globally inoptimal solutions. When the opportunity costs are determined by the outside market forces as in the goal program of Appendix 32, possibilities for cheating diminish. Their reports about the constraints to the functions are usually correct because it would be relatively easy to check this information.

To summarize, goal programming offers a fairly applicable approach to wood procurement planning at quite a low cost. It is possible to reach the global optimum. Imprecise information concerning the opportunity costs related to the function managers' goals may, however, hinder the final plan from being optimal for the timber division as a whole.

332. Simulation through System Dynamics

Simulation is numeric modelling tool whereas linear programming and goal programming are analytic techniques. Simulation is inherently an imprecise method. It provides statistical point estimates through computer experiments. It compares some given alternatives rather than generates optimal solutions. (e.g. Andersin and Sulonen 1972, p. 13). The mathematical problem formulation and solving through simulation often require a large amount of time and expense. But simulation is an invaluable tool for solving problems where more satisfactory techniques fail. It is considered to be a »last resort» as a management science tool. It is applied when other techniques fail. Because of its experimental nature, it is often used as a primary method for finding a limited number of feasible alternatives from some large population of possible actions. This more clearly defined group is then analyzed with some other method. It is applied especially for solving complex models of total systems (Fishman 1973, p. 18; Hillier and Lieberman 1972, p. 470; McMillan and Gonzales 1965, p. 16; Wagner 1970, pp. 500, 507; etc.). Simulation as a concept is vague.

It is not self-evident to talk about »the» simulation technique. Simulation could be defined as a »technique for solving problems by following the changes over time of a dynamic system» (Gordon 1969, p. 17). Hannus and Louhenkilpi (1976, p. 7) give the following definition: simulation is a numerical technique for digital computer experimentation of certain types of mathematical models that describe the behaviour of complex systems within some period of time. The definitions describe the experimental and dynamic nature of the method. In many applications, other factors than time express the dynamic character. The simulation literature indicates that there is no general algorithm developed for solving mathematical problems through simulation. This makes the method flexible. According to Bare (1971, p. 17) it is »the single most appropriate O. R. technique applicable to the widest range of forestry problems». He lists 18 studies on the

application of simulation to timber harvesting and inventory analyses alone. Simulation along with linear programming is the only method that has actually been successful in operational forestry problems (Bare 1971, pp. 18, 24). These two methods are the major tools applied in practical wood procurement planning of Finnish forest products firms today (Kanerva[1]), personal interview).

The flexibility of simulation proposes that it may be a well applicable method for solving decentralized business problems in general and decentralized wood procurement planning especially. Unfortunately, the literature of decentralization does not support the assumption. There are only few references to simulation as a decentralized planning technique. Johnsen (1968, pp. 436—438) views it at an abstract level as a possible method for solving multiobjective decision problems. Hannus (1974, p. 7) describes the decision making implications of one type of simulation — the system dynamics approach. He pictures it disintegrated and a sort of decentralized. In the following we discuss two simulation approaches for decentralized wood procurement planning. One is the system dynamics approach. The other one concerns a discrete simulation procedure.

In continuous computer simulation the variables are described as continuous functions and their relationships through differential or difference equations. Continuous simulation is normally used for solving process-type production problems. The work of Forrester (1961) has been fundamental on the development of production-inventory problem solving through continuous system simulation. The *system dynamics* approach he has developed is a type of continuous simulation (Gordon 1969, p. 49; cf. Keloharju 1976 a, p. 89). It deals with closed systems (Hannus 1974, p. 6; Keloharju 1976 b, p. 7). It models large systems that include many functions (Gordon 1969, p. 49). The actions take place in several locations of the system. Decision making — or planning — in a business firm's system dynamic model may be hard to identify. It is quite implicit by nature (Hannus and Louhenkilpi 1976, p. 87). This is understandable when knowing the historical background of the method. Its origin lies in the regulation of electrical circuits which is a purely engineering problem and has nothing to do with business economics (Keloharju 1976 a, p. 89). Figure A 4 of Appendix 23 shows a system dynamics description of wood procurement planning under *centralization* and Figure A 5 that under decentralization.

The *decentralized* planning process through the system dynamics approach, presented in Figures A 5 a—d and 15, could be summarized, for example, as follows:

1. The transportation manager receives information about the mills' periodic timber demands and the limits of timber supply possibilities (guiding constraints) from the logging manager. He computes a feasible transportation schedule. He then informs the logging manager and the timber division head about the schedule.
2. The purchase manager receives information about the approximate timber demands for logging (guiding constraints). He computes feasible stumpage purchase and own forests' cutting, and delivery purchase schedules. He informs the logging manager and the timber division head about the schedules.
3. The logging manager calculates a feasible logging schedule given the suggested transportation and logging schedules. He reports the result to the timber division head.
4. The division head records the schedules and suggests a direction for new transportation and purchase schedules producing feasible wood procurement alternatives with lower costs.
5. The iterations continue until a fair amount of alternatives are available to be discussed in a meeting. The division head and the managers compare the feasible alternatives and their associated costs, and the best wood procurement alternative is chosen.

[1]) Antti Kanerva, operations research expert, Enso-Gutzeit Co.

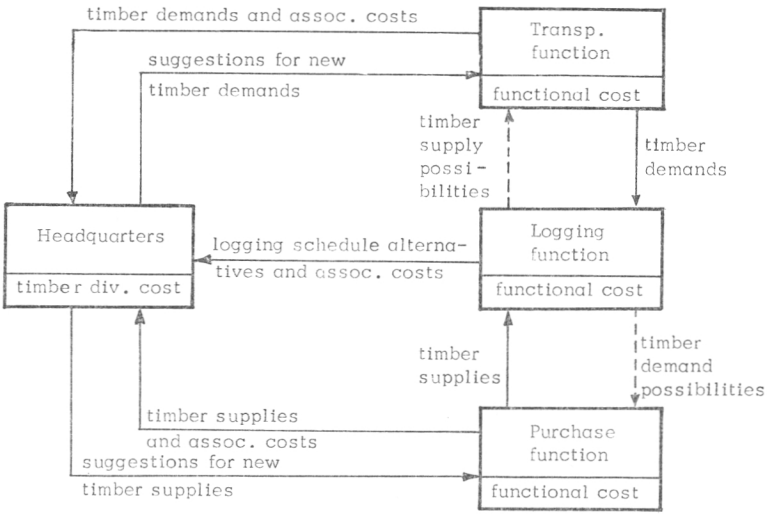


Figure 15. Information flows of the system dynamics approach (when the headquarters acts as a mediator).

Notation: ——→ iterative flow
——→ noniterative flow

Kuva 15. Systeemidynaamisen lähestymistavan tietovirrat (kun metsäpäällikkö toimii suunnittelussa välimiehenä).

Huom. ——→ *iteratiivinen tieto*
——→ *kertakaikkinen tieto*

The continuous nature of the procedure assumes that one iteration includes the whole wood procurement process. Iterations are needed for producing several alternatives. The system dynamics approach under centralization of Figure A 4 treats the wood procurement planning as one process. It applies forward induction. The decentralized planning of Figure A 5 takes place in several pieces. There a plain forward or backward induction, unless coupled with some optimization procedure, would require excessive iterations. Therefore, the approach under decentralization is a »both-end-start» procedure. The fitting together of the purchase and transportation suggestions takes place in the adjustment of the logging schedule.

The system dynamics procedure has met considerable criticism. It includes an assumption that all or most behavior of the system depends on endogenous variables. The approach being closed is a serious limitation when the system it should describe has many interactions with the outside world (H a n n u s 1974, p. 6). The centralized wood procurement planning system depends greatly on the outside world. Auxiliary elements L, S, Z, V, X_1, X_2, R, Y and M of Figure A 4 in Appendix 21 are the links. When the planning is decentralized the dependence of the subsystems is even greater. This is evident from Figure A 5 in Appendix 22 where the information exchange iterations for coordination require additional impulses $\hat{Y}$, $\hat{U}$, $\hat{V}$, $\hat{X}$, and X between the subsystems. It is especially clear from Figure A 5 c that shows the way one would try to handle delivery purchases of timber under decentralization through the system dynamic approach. Being faithful to the idea of decentralization the diagrams fails to include feedbacks that are essential elements of the system dynamics. The system in Figure A 5 c is completely open which is against the principal philosophy of the approach.

The creation of necessary computer programs for a system dynamics wood procurement planning model is a cumbersome task. The linear programming-based procedures have the advantage that the algorithm itself is recorded in the computer as a library program. The most complex of the functional problems are the transportation (Figure A5a) and the logging programs (Figure A5d). A system dynamics expert should be hired to create the procedure and to aid function managers to operate it. At the moment such specialists are relatively few in Finland. Consequently, their hiring would require relatively high *costs*. The function managers would need some training in order to understand the models. In Finland, the operation of system dynamics models is restricted. For example, large DYNAMO-language programs can at present be run only in the UNIVAC 1 108 computer of the State Computer Center (VTKK) that has the appropriate packages in its use. In the application of for example, linear programming or discrete simulation in standard FORTRAN-language such restrictions do not exist. The operating costs concerning one iteration of the system dynamics wood procurement planning approach are very low. In order to find acceptable solutions, however, many iterations are needed. The manual and machine data processing in each function even with many iterations is cheap but the information exchange requires much of the executives' costly time.

Information processing through many iterations is slow which makes the approach to fit poorly for wood procurement planning in rapidly changing market conditions. The approach is capable of producing many feasible solutions among which the most appealing plan can be chosen. As such, the technique cannot handle stochastic planning yet. K e l o h a r j u (1976a, p. 25) preliminarily discusses the incorporation of uncertainty analyses in the system dynamics approach. The method's structure is quite simple. The function managers should easily be able to carry out the necessary computations. But the simplicity may go too far. H a n n u s and L o u h e n k i l p i (1976, pp. 92—93) state that system dynamics may be useful only in demonstrative models. According to them it is not a suitable tool for decision making or planning of real-world, complex problems. This criticism may be too harsh. System dynamics could still be *applicable* for the centralized wood procurement planning described in Figure A 4. But the other procedures, for example discrete simulation, are more suitable for solving the decentralized planning problem of this study.

The procedure gives a fair motivation for the managers to implement the plans. They are quite free in their decision making. From Figure 15 it may appear that the logging manager would have more to say about the planning than the other executives. He delivers the logging possibility guiding constraints to the others in the beginning of the planning, and receives all the information needed for the putting together of the final plan. Would the other two managers feel somewhat subjected to him and, consequently, could their motivation diminish? The answer is no because the transportation and purchase managers compile their functional plans under the direction of the division head and not the logging manager. Moreover, in each iteration it is the logging manager who has to adjust his functional

plan to their demand and supply schedules. The coordination requires a mutual concern of all the functional plans. But the managers receive enough individual freedom in order to have incentives for a fair execution of the final plan.

The information exchange is not more susceptible to functional cheating than in most of the other approaches of this study. It would not prevent the approach from leading to *globally optimal* solutions. The system dynamics structure in its original form does not promote, however, the attainment of an optimum even for the centralized model of Figure A4. New developments that go beyond the original framework of the procedure are beginning to incorporate heuristic optimization subroutines (cf. Keloharju 1975, p. 145; 1977, p. 23; Juutilainen 1976). But these subroutines would not be able to find the global optimum for a decomposed wood procurement system. The only means to reaching at least an acceptable wood procurement plan would be to run tens of iterations following a computational procedure like that of Figure A5 in Appendix 22.

The system dynamics procedure is under considerable development today. We may agree with the criticism by Hannus on the properties of the original system dynamics approach. He concludes that the method, originally developed in the 1950's is »... out-of-date and is not as such useful any more» (Hannus 1974, p. 6). The new developments mentioned above and the on-going research to apply system dynamics to multi-objective decision making could make it an acceptable procedure in the future (cf. Keloharju 1976a). But still today the fundamental weakness of the original philosophy of the approach makes it quite unsuitable for the purposes of this study. We do not proceed further in analyzing the use of system dynamics in decentralized wood procurement planning. We do not discuss how to adapt monetary values in the procedure of Figure A5. It would be possible to include costs in the analysis and find the feasible wood procurement schedule producing the smallest total cost among a number of alternatives. Neither do we proceed to formulate the problem in some computer simulation language, of which DYNAMO would probably be the best choice (cf. Keloharju 1976b, p. 9). DYNAMO has been developed by several people. Of them one should especially mention Pugh (1963; 1976) and his co-workers. Instead, we enter discussing the more promising discrete simulation approach.

To summarize, the system dynamics approach presented here is fairly expensive. The approach is quite flexible and also enhances the function managers' motivation fairly well. But it does not produce a globally optimal wood procurement plan.

333. Discrete Simulation

In discrete computer simulation the changes in wood procurement system, however small, are taken discontinuous. Whether system changes should be depicted as »continuous» or »discontinuous» depends on the length of the smallest time interval considered. Seldom a system is clearly continuous or discontinuous. The study of continuous systems will sometimes

be simplified by considering the changes to occur as a series of discrete steps. On the other hand, a predominantly discontinuous system may be described in a continuous model. The choice of a model depends thus not only on its quality as a function of time but also on its other characteristics. These other characteristics of discrete simulation outweigh those of continuous simulation.

A discrete simulation model can be *particle* or event oriented (G o r d o n 1969, p. 123; cf. F i s h m a n 1973, p. 25). In the first approach attention is given to a certain batch of timber. Its flow through the whole process in a course of time is studied. A special discrete simulation language developed for problems of this type is, for example, GPSS (S h a n n o n 1975, p. 121). The second approach focuses on the *activities* of purchasing, logging, transportation and storing. SIMULA and SIMSCRIPT are activity oriented discrete simulation languages (S h a n n o n 1975, p. 120). Figures A 3 a—d in Appendix 23 depict a possible discrete simulation formulation for decentralized wood procurement planning. We do not go further analyzing whether one of the special simulation languages or FORTRAN should be used for solving them.

The principal task in each formulation could be to equate the functional supply and demand of timber. The ending timber inventory resulting from each transportation or purchase schedule is compared to the ending timber inventory requirement. When the requirement is fulfilled or exceeded it is possible to equate supply and demand and the schedule is feasible. Among a number of feasible schedules the one is chosen that produces the smallest total wood procurement cost. The original schedules are based on, for example, historical data from earlier periods and the function managers' experience. The planning starts from the transportation and the purchase functions and proceeds to the logging function. The steps are:

1. The transportation manager receives the periodic mills' timber demands and information about the limits of timber supply possibilities (guiding constraints) from the logging manager. He computes $n_3 = 1,\ldots, N_3$ transportation schedules and the associated costs. He informs the logging manager and the timber division head about the feasible schedules.
2. The purchase manager receives information about the approximate periodic timber demands for logging (guiding constraints). He computes $n_1 = 1,\ldots, N_1$ stumpage purchase and own forest's cutting schedules and $n_1' = 1,\ldots, N_1'$ delivery purchase schedules and the related costs. He informs the logging manager and the division head about the feasible schedules.
3. The logging manager receives the feasible transportation and purchase schedules. Based on this information he calculates $n_2 = 1,\ldots, N_2$ logging schedules and the associated costs, and reports them to the division head.
4. The final plan is put together in a meeting where the timber division head and the function managers compare the feasible alternatives and their associated costs, and the best alternative is chosen.

Figure 16 shows that this activity-oriented discrete simulation procedure is not iterative. Every information flow is a one-time event. The managers compute a set of feasible functional plans, and give the related timber demand or supply schedules and the functional costs to the logging manager. The logging manager computes a group of alternative logging schemes associated with all the demand and supply schedules, and the functional and whole wood procurement costs involved. He then delivers all the information at one occasion to the division head. Appendix 23 describes the procedure in more detail.

The coordination of the functional activities takes place in two ways. First, the guiding constraints by the logging manager to the purchase and transportation functions help them to seek solutions that are feasible to the timber division as a whole. The logging manager imposes them because logging is the link between the other two functions. The guiding

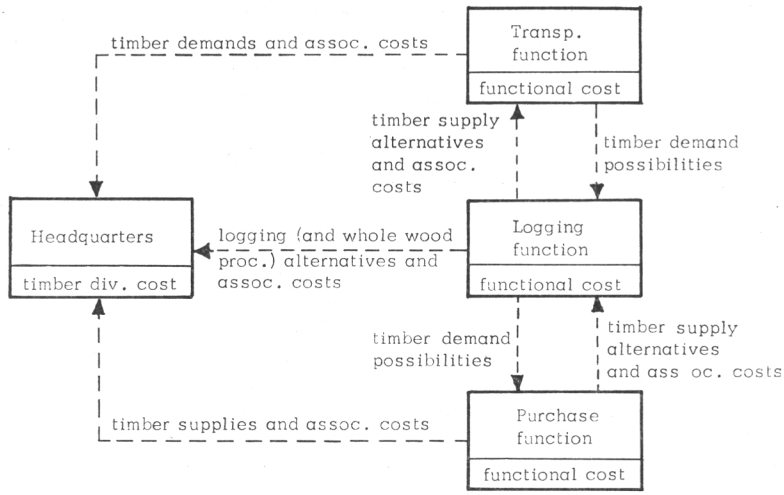


Figure 16. Information flows of the discrete simulation approach (when the headquarters acts as a mediator). The flows are noniterative.
Kuva 16. Diskreetin simuloinnin menetelmän tietovirrat (kun metsäpäällikkö toimii suunnittelussa välimiehenä). Tieto on kertakaikkista.

constraints also help to keep down the computational burden by eliminating some infeasible alternatives. Second, the final plan is put together in a meeting where the timber division head and the function managers can compare alternative feasible wood procurement schedules and their costs. In the procedure presented above the logging manager carries out the calculations of the alternative wood procurement programs for the divisions as a whole. He is only responsible for their technical realization but does not have the right of decision making, which takes place in the executives' meeting under the supervision of the timber division head.

The *cost* of setting up the discrete simulation approach is quite *high*. An expert should be employed for creating and helping in operating the procedure. The function managers, especially the logging manager, would need training to understand the workings of the submodels. The possibilities of finding experts to build the models depend on what computer language would be used. Not all the firms would be accessible to computers that include the special simulation language packages. FORTRAN is a safe choice in that it allows processing in most of the computers the Finnish forest products firms have in their use. The operating costs of a discrete simulation approach outlined in Figure A6 would not be high. The basic data collection by the functions would not be more difficult than for the other approaches discussed in this study. Processing the data is complex but the associated cost relatively low.

The discrete simulation approach discussed here is activity-centered. In the batch — or flow — approach the passage of a batch of timber is followed through the whole wood procurement process. It was applied in the system dynamics approach. The

activity orientation avoids some of the computational burden associated with the flow-approach. Finding feasible solutions for the three wood procurement functions of only one timber grade, one region and one mill is difficult. But tracing them simultaneously for several timber grades from several regions to various mills is naturally much more troublesome. That is why log allocation problems like the one in this study often are solved through mathematical programming. The »discrete» nature of the approach allows the information exchange to be noniterative. This causes its operating costs to be lower than, for example, those of the Dantzig-Wolfe decomposition principle.

The discrete simulation approach does not follow any tight pre-determined format. It is a flexible procedure that every firm could modify to fit its own goals. The approach presented in Figure A6 is only one possibility for solving a decentralized wood procurement problem. It is a fairly *applicable* procedure to changing market conditions because it does not require information exchange iterations. The only time consuming activities are the many repeated simulation runs in the functions. With the discrete simulation approach it is easy to create a large quantity of feasible solutions from which the most suitable to each situation can be chosen. Discrete simulation is known for its applications in stochastic problems. Its structure allows an easy incorporation of uncertainty analyses. They, however, make the often complicated programs even more complex.

Due to the stepwise solution pattern the function managers are in a somewhat different situation in the planning process. The transportation and purchase managers calculate their alternative plans independently of each other but are restrained by the guiding constraints by the logging manager. The latter assumes the role of a coordinator in that he transmits the information about the limits of the feasible region of transportation to the purchase manager and that of purchase to the transportation manager. Depending on the tightness of the guiding constraints the function managers may feel more or less dependent on each other. In general, the freedom to generate their own alternative plans improves the managers' motivation. The mutual dependence is not too high so that it would reduce the motivation to perform to the benefit of the division as a whole.

The information exchange does not include a reward system that would guarantee the delivery of true data which, in turn, would aid in reaching the *globally optimal* wood procurement plan. On the other hand, it does not promote cheating because there is no open competition between the function managers that would aid bargaining. The position of the division head may restrict the managers from delivering false information. The simulation approach does not incorporate any mechanism that would guarantee that an optimum solution will be found. It is an experimental procedure where the choosing of the transportation, logging and purchase schedule alternatives is arbitrary. It is not possible to verify whether the optimum is included in those alternatives. The guiding constraints, if too strict, may exclude the optimum schedule from the computations. This may happen espe-

cially in the guidelines that coordinate delivery purchases with logging. These processes aim at the same: fulfilling of the timber demands at the road side of the transportation function. In order to find any solution for the wood procurement simulation problem some preliminary guesses must be made as to how much of the demands should be satisfied through delivery purchases and how much through logging. This is done by the guiding constraint and is arbitrary.

For striving at the global optimum the timber division head should be able to affect the planning through a master program. The discrete simulation approach as, for example, the system dynamics procedure, does not include such a program. The logging manager is responsible for carrying out the concluding computations leading to a wood procurement plan. Knowingly or unknowingly he may execute the duty in such a way that one of the functions, probably his own subunit, will be favored in the final wood procurement plan.

To summarize, the discrete simulation approach of this study is a cheap and well applicable procedure for decentralized wood procurement planning. Its greatest drawback is the inability of producing a globally optimal solution.

34. Approach of Pure Negotiations

In every decentralized organization information is exchanged for the coordination of the subunits' activities. Possibly no transfer prices, master programs, guiding constraints or other formal coordinative tools are involved: the unification of the functional plans takes place only through discussions. No money is used for compensation in the settlements.

Decentralization in the traditional wood procurement frameworks of Appendix 1 may gradually evolve from the increased participation of the function managers. The head first starts paying attention to the opinions of the managers and finally acts as a mere mediator. He would aim at recurring to an agreement by keeping the managers' negotiations going.

Figure 17 shows that the information exchange involved is quite similar to that of the functional trading procedure. In the figure it is assumed that the head participates in the discussions. He receives all the information the managers deliver to each other. Because logging links the other two functions together, the logging manager, too, receives and delivers all the information needed to equate the internal timber supplies and demands.

The decentralization through negotiations would have the following steps:

1. The function managers solve their wood procurement problems given the outside world constraints and at most a »feel» about the production possibility restrictions by the other functions. They compute the timber demands from or supplies to the other functions of the best solution.
2. The transportation manager reports his timber demands to the logging manager and the logging manager his demands to the purchases manager; the purchase manager informs the logging manager about his timber supplies and the logging manager his supplies to the transportation manager; all these reports are given also to the division head.
3. The transportation and logging manager, and the logging and purchase managers negotiate about their transfer suggestions with the division head as a mediator.
4. The negotiations continue until a satisfactory wood procurement schedule is agreed upon. This schedule is executed.

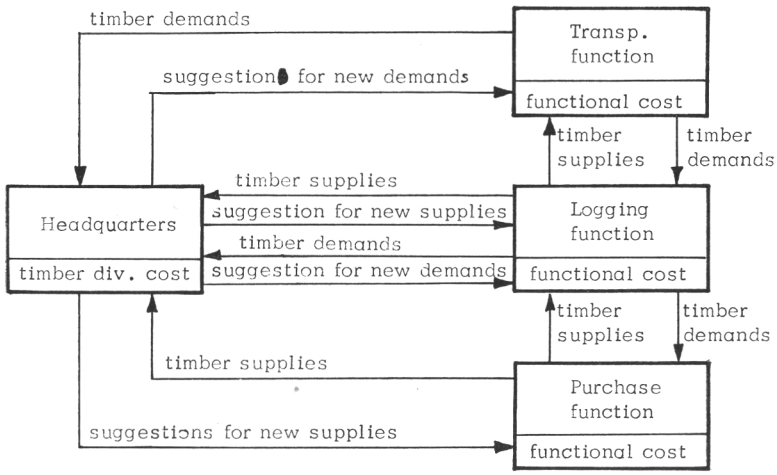


Figure 17. Information flows of the pure negotations approach (when the headquarters acts as a mediator). The flows are iterative.

Kuva 17. Puhtaan neuvottelumenettelyn tietovirrat (kun metsäpäällikkö toimii suunnittelussa välimiehenä). Tieto on iteratiivista.

Decentralization through negotiations is *cheap* to set up: it does not require creation of new models for solving the functional or corporate wood procurement problems. Existing personnel does not need extra training, new employees need not be hired. The basic data collection in the functions does not require more effort than under centralization or for any other approach of decentralization discussed in this study. The data processing system, already in use, can be maintained. If the functions are applying linear programming, the managers could start the negotiations after solving problems similar to those of (3.10)—(3.12). The right-hand-side of the guiding constraints (2), (2)—(4) and (2)—(3), respectively, would then show each manager's primary approximations to the other managers' internal timber supply or demand possibilities. The cost of the basic data collection is low. The manual and machine data processing costs depend on the amount of iterations the negotiations require. These iterations and the discussions take time. On the other hand, this informal procedure requires little paperwork which lowers the cost of information.

Much depends on the personality and will of the executives how fast the discussions would be leading to the overall wood procurement plan. The procedure may or may not produce fast decisions which would make it applicable for the changing business cycles. The negotiations are a most *flexible* way to find acceptable plans for a variety of situations. The procedure is robust: its working does not depend on detailed pieces of information. It functions also when the managers have

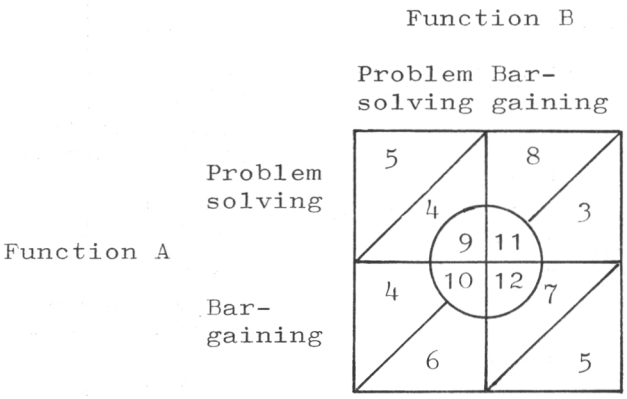


Figure 18. Example of functional wood procurement costs resulting from problem solving and bargaining behavior (cf. Thomas *et al.* 1972, p. 52).

Note: The upper left entry in each square represents wood procurement cost to function A, lower right entry cost to function B. The summed costs are in the center circle.

Kuva 18. Esimerkki kahden puunhankintatoiminnon kustannuksista kun neuvottelujen tuloksena saatu suunnitelma on syntynyt pyrkimyksestä päästä koko puunhankinnan kannalta parhaaseen tulokseen tai alijohdon halusta ajaa omia etuja (vrt. Thomas et al. 1972, s. 52).

Huom. Kunkin neliön vasen yläosa sisältää toiminnon A kustannukset, oikea alaosa toiminnon B kustannukset. Yhteenlasketut kustannukset ovat keskiympyrässä.

just a feel of the uncertain wood procurement costs and productivities. The level of sophistication of the calculations leading to the suggestive functional plans depends totally on the function managers. The function managers' motivation is apt to stay high due to their great level of independence in planning. Only a poor negotiator may be an exception. He may feel »deceited» in the planning process and have little incentives to implement the final plan.

The approach does not guarantee the global *optimum*. The negotiated plans seldom are the best choices. They tend to be formed according to the desires of the best negotiators. The bargaining skills rather than the operational or economic applicability are decisive when choosing the wood procurement plan. Figure 18 illustrates the problem solving — bargaining interaction in negotiations between two functions. The poor cost performance of the situations where bargaining is involved is caused by the overstatements, distrust and lack of consideration between the function managers. The example shows that the wood procurement costs may increase considerably if one or all of the function managers start gaming. The head's task is to distill the truth from conflicting and exaggerated »facts» which the negotiating parties bring forth to the meeting (cf. Dean 1955, p. 72; Cook 1955, p. 93).

To summarize, pure negotiations are a cheap way of finding a decentralized wood procurement plan. It is an applicable approach for a variety of business situations. Unfortunately, it is incapable of producing a globally optimal solution.

35. Comparing the Approaches

In this chapter we have been considering several differing types of planning procedures. We have classified them in Figure 9 of section 31 according to the major *coordinative tools* they employ. When money is the tool it can be used through transfer pricing as in the Dantzig-Wolfe decomposition principle and the price adjustment procedure, or through side payments as the functional trading procedure suggests. This money affects the functional programs' objective functions. When timber allotments are the adjustment measures they can affect the functional programs' constraints as in the simulation approaches. Or the functional allocation suggestions are rearranged through a master program in the headquarters. This is the procedure in goal programming. Finally, the coordination may take place through pure discussions. The above division does not show all the coordinative tools the approaches employ.

The Dantzig-Wolfe approach is based on the use of transfer prices but a master program produces them. Thus the Dantzig-Wolfe approach resembles goal programming. The master program's ingredients are the internal timber demand and supply schedules and the related functional payoffs the managers report to the headquarters as a response to the transfer prices. Thus the exchanged information does not only include transfer prices but also timber allotments and subunits' payoffs. The exchange is rich on different types of data. The impelling force for coordination is, however, transfer pricing.

The price adjustment procedure is a considerably simpler approach than the Dantzig-Wolfe decomposition principle. The only tools for coordination are the transfer prices. The function managers' direct responses to the prices are the internal timber allotments. The method does not produce information concerning the effects of the internal prices and timber allocations on the functional payoffs and the timber division's economy as a whole. The functional trading procedure's coordinative measures are also simple. The headquarters does not participate in the information exchange. The coordination of the internal timber supplies and demands takes place by the functions themselves through side payments. The money payments result from informal discussions between the managers. The procedure resembles the approach of pure negotiations.

Goal programming assumes the use of an all-covering master program in the headquarters. The program's major ingredients are the managers' timber allotment goals. But essential are also the functional shadow prices or opportunity costs related to attaining these goals. They affect the goals' ranking in the master program in a similar way as the functional payoffs in the Dantzig-Wolfe algorithm give weights to the interfunctional timber allotments. The goal programming approach also employs guiding constraints. These are quite necessary in this approach that does not include iterations to narrow down the functional suggestions to an acceptable overall wood procurement schedule.

For the two simulation approaches — the system dynamics and the discrete simulation procedures — the coordination takes place through guiding constraints. These procedures also employ negotiations. In this study we assume that only goal programming and the two simulation approaches employ guiding constraints. Although not originally imbedding in them also the other methods could use such guidelines. This would improve these methods' speed in producing the final plan.

The above classification (column 1 in Table 1) is based on the coordinative tools the approaches employ. Another way of grouping is to look at the amounts of information exchange iterations they require. The Dantzig-Wolfe decomposition algorithm and the price adjustment procedure of this study are *iterative* methods (column 2). Having many iterations is a drawback because the information process then takes much time and is expensive. The goal programming approach is noniterative. Of the simulation methods in this study the system dynamics approach is iterative and the discrete simulation application noniterative. For the less formal methods of functional trading and pure negotiations the discussions are iterative.

Linear programming has probably been the most widely used operations research tool in practice. The Dantzig-Wolfe decomposition algorithm — used so often as a reference point when developing new procedures for decentralization — has its origin in linear programming. Therefore, it is understandable that also many of the alternative approaches of this study apply linear programming (column 3 in Table 1). For the Dantzig-Wolfe algorithm and the goal programming approaches the master programs are linear programs. The functional problems may or may not be solved through it. In the price adjustment procedure, the functional trading method and the pure negotiations approach the managers may or may not use linear programming for finding out the best functional schedules. The simulation methods are based on numerical problem solving which is a different philosophy than that of the linear programming technique.

The decentralized leadership style varies somewhat from one approach to another (column 4 of Table 1). In the Dantzig-Wolfe algorithm and goal programming framework the *final plan is put together* by the *timber division head* with the function managers assisting. In these approaches, the master programs play decisive role in the coordination of the functional plans. In the other methods the *function managers* decide about the final plan with the division head assisting.

The Dantzig-Wolfe method and the goal programming approach, employing master programs, have mainly been described from the point of view of the wood procurement process *as a whole*. The simulation approaches have been presented mostly on the *functional level* because they do not include any overall master program. Also the price adjustment, but especially the functional trading and pure negotiations procedures are function-oriented. For them, however, no specific »algorithm» has been found because they are quite unstructured methods.

Table 1. Some properties of the planning approaches
Taulukko 1. Suunnittelumenetelmien ominaisuuksia

Approach	Coordinative tools involved?	Approach is iterative?	Approach employs linear programming (LP) in some form?	The final plan is primarily put together by head or function managers?	Origin of the approach?
1. Dantzig-Wolfe algorithm	transfer prices, master program	iterative	LP	head	literature of decomposition
2. Price adjustment procedure	transfer prices	iterative	(not LP)	function managers	
3. Functional trading procedure	side payments	(iterative)	(not LP)	function managers	
4. Goal programming	master program, guiding constr.	noniterative	LP	head	traditional analytic modelling
5. System dynamics	guiding constr., negotiations	iterative	not LP	function manager	traditional numeric modelling
6. Discrete simulation	guiding constr.	noniterative	not LP	function manager	
7. Pure negotiations	negotiations	(iterative)	(not LP)	function managers	behavior of individuals and groups

The planning procedures differ by their *origins* (column 5). The first three approaches have originally been developed for decentralization. These so-called decomposition methods here have been studied with reference to their comprehensive survey by Jennergren (1972). It is remarkable that although many decomposition methods have been introduced by the theorists they have not gained practical applications. Their properties have not been adequately tested in actual organizations (Atkins 1974, p. 623).

The second and third kinds of procedures discussed in this study are the adjustments of traditional mathematical (operations research) models for decentralization. The goal programming approach is based on linear programming. It includes optimization routines which makes it a desirable tool for our purposes. The numeric procedures are simulation approaches. The goal programming procedure and the discrete simulation approach have been applied in Finland for wood procurement planning under centralization but not yet under decentralization (Kanerva, personal interview). The system dynamics approach has no applications in this area so far.

Lastly, the informal method of pure negotiations has evolved from the immediate need of changing (centralized) planning practices to suit decentralized planning.

It involves discussions without side payments. The functional trading procedure is related to it. It concerns negotiations with side payments. Much research is under way in order to develop new methods associated with the above two approaches. The »organizational joint problem solving» approach by Swinth (1971, pp. B-68—B-79) and the »group regret minimization» procedure by Yu (1973, pp. 936—946) are examples of them. These new methods are only under way to be developed. They lack clearcut formulation.

Table 1 summarizes some of the properties of the decentralized planning approaches discussed in this section. These properties do not directly indicate how well the procedures fulfill the criteria of low costs, applicability and the global optimum. Next chapter presents a more comprehensive summary of the study results.

4. SUMMARY

41. Conclusions

The purpose of this study has been to present and discuss alternative decentralized wood procurement planning approaches. The aim is to help a forest products firm's timber division head to choose a proper planning procedure. The approaches considered come directly from or are derivations of the methods appearing in the management literature and practice. It has not been our task to advocate decentralization. The need for this study has evolved from the increasing interest for decentralization among the Finnish forest products firms in the 1970's. The object firm is a small or intermediate size, integrated company. Its wood procurement operations take place in a fairly limited, uniform area. The timber division applies functional organization. Decentralization appears in the participation of the function managers — the purchase, logging and transportation managers — in the wood procurement planning together with the division head.

A good decentralized wood procurement planning approach should fulfill three criteria: it should be cheap, applicable to changing wood procurement conditions and to motivating the function managers, and able to reach the global optimum. The objective is to identify those procedures that achieve most of these demands. The analyses show that none of the approaches fulfills all of them. Table 2 summarizes

Table 2. The choice criteria fulfillment levels of the planning approaches
Taulukko 2. Menetelmien verailu kriteerien valossa

Approach	Criterion		
	Cost	Applicability	Global optimality
1. Dantzig-Wolfe decomposition principle	poor	fair	good
2. Price adjustment procedure	fair	fair	poor
3. Functional trading procedure	good	good	poor
4. Goal programming	good	fair	fair
5. System dynamics	fair	fair	poor
6. Discrete simulation	good	good	poor
7. Pure negotiations	good	good	poor

the results. The rows depict the decentralized procedures studied. The columns present the three requirements. The procedures can attain three different fulfillment levels.

Each decision maker probably values the importance of the criteria differently. It is impossible in the framework of this study to consider all the possible weighing combinations to the criteria of the executives. Therefore, in this study the criteria are not given any weights to calculate the »scores» of the approaches. It has not been possible to rank the approaches from best to worst. From Table 2 we see, however, that some of the approaches are better than or equal to others with respect to all the three criteria. We call this domination. The price adjustment procedure and the system dynamics approach are dominated by all the other procedures except the Dantzig-Wolfe decomposition principle. Of the three, the Dantzig-Wolfe algorithm has poorer performance with respect to the costs but better concerning the global optimum. As to the global optimality, the Dantzig-Wolfe method is strictly superior to all the other procedures; the goal programming procedure ranks second. The functional trading, discrete simulation and pure negotiations procedures appear equally acceptable. Their cost performance and applicability properties make them partially superior to all the other procedures. Thus they dominate all the other approaches except the Dantzig-Wolfe and goal programming methods.

We conclude that a forest products firm's timber division head would make his choice among the Dantzig-Wolfe method, goal programming approach, and the seemingly equally acceptable procedures of functional trading, discrete simulation or pure negotiations. The first thing he would do in order to narrow down the alternatives further would be to select one of the three approaches appearing equally acceptable and reject the other two. For that, he would define some additional requirements. Based on the interviews of the practical foresters in Appendix 1 we determine the following three additional criteria. (1) The procedure should deviate from the current wood procurement planning practices as little as possible. (2) The approach should include as little bargaining as possible. (3) The method should have a clear mathematical formulation which would allow its computational testing before use. The first requirement favors the approach of pure negotiations which is the most common way of »decentralizing» the planning. At present, side payments are not used in wood procurement planning which leaves out the functional trading procedure. Discrete simulation has been applied to wood procurement planning but mostly on an exploratory basis. The second requirement favors discrete simulation because bargaining is an element of discussions and discussions are a less essential particle of it than of the other approaches. Also the third demand puts the discrete simulation first. The other two approaches lack clearcut mathematical structures. We conclude that of the three almost equally suitable approaches the discrete simulation procedure be chosen.

The final evaluation should then be made between it and the Dantzig-Wolfe decomposition principle and the goal programming method. Figure 19 shows the

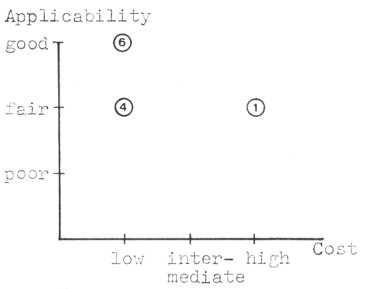


Fig. 19a

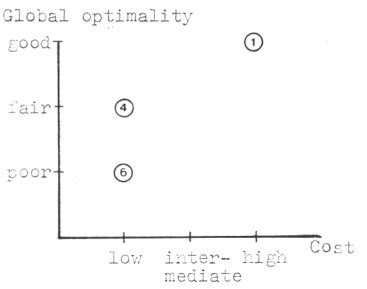


Fig. 19b

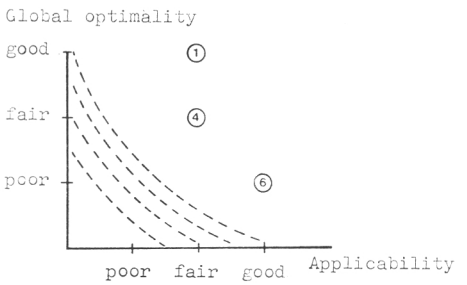


Fig. 19c

Figure 19 a—c. The performance of the recommended planning approaches (1 = Dantzig-Wolfe decomp. principle, 4 = goal progr., 6 = discr. simulation) with respect to the three choice criteria.

Note: Fig. c includes examples of indifference curves to the criteria of applicability and global optimality.

Kuva 19 a—c. Suositeltavien suunnittelumenetelmien (1 = Dantzig-Wolfe-dekompositiom., 4 = tavoiteohjelmointi, 6 = diskr. simulointi) vertailu kolmen kriteerin valossa.

Huom. Kuvaan c on hahmotettu metsäpäällikön indifferenssikäyriä soveltuvuus- ja optimaalisuuskriteerien suhteen.

trade-offs the timber division head is facing before making the final choice. Figures 19 a—b show the costs of the three methods, their applicabilities and capabilities of producing a globally optimal wood procurement plan. If the timber division head had a small amount of money available he would select either discrete simulation or goal programming. His final choice would depend on his preference system. If he wanted to have a highly applicable approach at a low cost without demands for the optimal solution he would choose discrete simulation. Then in Figure 19c point (6) would lie on an indifference curve to the right of the curve point (4) lies on. If he required at least a fairly global optimum at a low cost with less demands to applicability he would choose goal programming. Then point (4) would lie on a curve to the right of the curve point (6) lies on. If money was not a limiting factor but the head would rather make sure reaching the globally optimal solution he would choose the Dantzig-Wolfe decomposition principle.

Similar repeated analyses would be needed in order to find the timber division head's final choise. Unfortunately, within the framework of this study it is impossible to proceed further to looking for the very best of the procedures without still additional choice criteria or without mapping the preferences of the decision makers. For the time being we conclude that their choices would be the Dantzig-Wolfe decomposition principle, the goal programming procedure or the discrete simulation approach. Of these, the *Dantzig-Wolfe decomposition principle* can be used in situations where the firm can afford a high-cost, slow procedure. The major advantage of this approach is its promise for a globally optimal wood procurement plan. In practice, however, the global optimum would seldom be reached because it would require tens of information exchange iterations to find the optimum. The inclusion of guiding constraints in the subproblems may improve its performance. But it would still be a slow procedure. The approach has originally been a purely computational device to reduce computations for large scale linear programs. According to Jennergren (1972, p. 84) it is therefore lacking clear »economic meaning» even in the types of resource allocation problems (see section 12) it has first been applied to. It promises low motivation of the subunit managers in the plan execution. This economic meaning is even less clear in the wood procurement problem of this study. The transportation manager's motivation is low not only in the implementation but also in the planning phase.

The Dantzig-Wolfe decomposition principle can be recommended for firms that are looking for a sophisticated, even expensive, theoretically valid decentralized planning tool. These firms must operate on markets that are not susceptible to fast changes. The function manager must be loyal employees whose motivation is not reduced even when their voices are not much heard in the putting together of the final plan.

Goal programming is a relatively low-cost, fast approach that promises fair applicability and fair possibility of attaining the global optimum. It is an appealing approach to the function managers in that they can express their individual work targets to the headquarters in the operational terms they are used to. It is an attractive procedure to the division head since the coordination of the managers' goals takes place under his eyes in the master program. A major weakness of goal programming is the possibility for informational cheating. The simple structure of the approach makes it easy for the function managers to create strategies for delivering false information. Another disadvantage is the low motivation of those function managers whose goals cannot be included in the final plan. Such a drawback is likely to appear because not all the conflicting functional targets can be included in the overall plan.

The goal programming approach can be recommended for firms that are facing rapidly changing market conditions that call for fast decisions. The function managers must be independent and skillful enough in order to be able to announce their personal wood procurement goals even when the data on the markets are deficient. After the goal announcements they must be sufficiently cooperative to give up some

of these goals when the firm's success calls for it. The procedure, like the Dantzig-Wolfe decomposition principle, is especially fitting for firms where the timber division head more or less doubts the usefulness of decentralization and wants to control planning. He can have the final word when the wood procurement plan is put together.

Discrete simulation is a most flexible procedure that does not introduce, as the two approaches above, a fixed format according to which the wood procurement problem should be formulated. Every simulation model can be »custom tailored». It may follow the computationally efficient both-end-start pattern as the model described in this study (Figure A6). Or it may assume forward induction as for the system dynamics centralized model (Figure A4), etc. The advantage of this approach is that the planning process, under decentralization, may be kept to a large extent similar to the traditional planning, explained in Appendix 11. Creating the necessary computer programs may be cumbersome. The procedure's operation, however, is cheap and fast. Its major drawback is its lack of ability to produce globally optimal plans.

The discrete simulation procedure can be recommended for firms that can wait a long time to set up the planning system but demand its operating be fast and cheap. It is fitting to companies that have not applied analytic planning techniques and wish to maintain as much of the old planning system as possible. The timber division head must contend himself with results that are satisfactory to the division as a whole. Also, he must accept the position of a mediator who is not directly deciding about the final plan. The function managers must assume their proper positions in the planning. One of them acts as a coordinator, who processes the other two managers, timber allocation suggestions. In the discrete simulation approach of this study the coordinator is the logging manager.

The research into techniques for decentralized planning has centered around developing mathematical algorithms. The research is highly theoretical and the algorithms are often quite general in nature. The specific problems where they could be applied for are not identified. The purpose of this study has not been to create new operations research algorithms or mathematical theories for decentralization. The objective has been to present the applicabilities of a given group of decentralized planning approaches to a specific problem: wood procurement of a functionally organized forest products firm.

Too often the recorded planning method »applications» are cases where the author has just developed or become familiar with a technique and modifies the real world to fit the technique. The scope of the application is carefully limited in order that the desired procedure can be used (B e u t e r 1973, p. 8). In this study the starting point is the problem, not the method. We have been trying to avoid subjectivity by presenting several criteria for the planning methods to be acceptable. We are also comparing several procedures instead of concentrating only on one method, as is usually done. The purpose has been to discuss the methods as objectively as possible.

Within the scope of this study, the Dantzig-Wolfe decomposition principle, goal programming and discrete simulation, in spite of their imperfections, have proved to be the best representatives of different types of planning methods. In appendices 32—34 we include a detailed example of a goal program. This has been an easy task once the corresponding linear program has been formulated and solved for the purposes of section 13 in Appendices 31, 33 and 34. Unfortunately, it is a much more cumbersome task to create and solve the corresponding discrete simulation programs. A separate study would be needed for that. Therefore, we only include rough flow charts of the discrete simulation computations in Appendix 23. As to computational experiments with the Dantzig-Wolfe decomposition principle, we refer to an earlier study (K e i p i 1976, pp. 193—201).

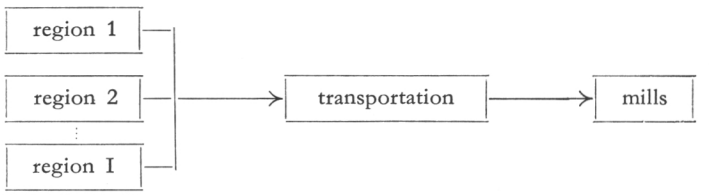
42. Extensions

During the past few years, decentralization of economic organizations has increased. There have existed several major directions in the research on decentralization of business firms. The two major topics are (1) the motivation of the employees as a psychological problem studied, for example, by A r g y r i s (e.g. 1965) and (2) the mathematical planning approaches, the development of which truly started when D a n t z i g and W o l f e (1961) created their decomposition algorithm. The literature on planning procedures for decentralization has since then centered around the Dantzig-Wolfe algorithm that originally has been a purely computational procedure for solving large linear programs in pieces. Unfortunately, later research has continued to be technique-centered. The starting point has usually been a certain technique, and their objective, »finding» real-world situations fitting to the procedure. The starting point for this piece of research is the wood procurement problem of section 13. In section 12 we have first described the Dantzig-Wolfe algorithm's implicit assumptions for the general decentralized resource allocation situation and then, in section 32, for the wood procurement problem. These types of interpretations on the planning design and information exchange of the algorithm have been rare in the literature (L j u n g and S e l m e r 1977). Because the Dantzig-Wolfe basic design does not necessarily fit to the functionally decentralized wood procurement problem solving we have studied also other procedures in this publication.

This study's object is the functionally decentralized timber division of a small or intermediate size Finnish forest products firm. The question arises: how well do our conclusions hold for other situations — for not functionally but geographically decentralized large timber divisions, and for forest products firms outside Finland. Geographical decentralization is in the interest of large firms operating in vast areas that are divided into distinct regions. In this study the wood procurement process is described as a sequel of purchase, logging and transportation functions:

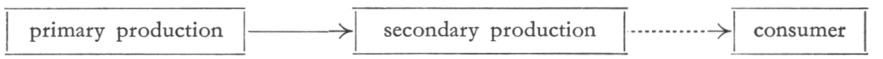


Geographical decentralization would assume several (I) independent regional departments that purchase and log timber, then to be transferred to the mills by the transportation department:



It is to be expected that the ranking of the planning approaches of geographically decentralized wood procurement would differ from that of this study. It is the author's guess, however, that of these, discrete simulation due to its flexibility and goal programming due to its robustness would rank high. In very big companies the regions themselves may take care of the transportation. Functional decentralization could take place within each regional office. For this type of two-level decentralization the planning approach inside each region should be one of the best ranking procedures according to this study. For choosing the approach for coordinating the regional plans additional analysis is needed.

This study concerns the timber division of a typical Finnish forest products company. The results are applicable to forest products firms outside Finland if they presume a functional wood procurement organization like that in Figure 6. Moreover, the conclusions should largely apply to any decentralized production system with a sequential structure:



The prerequisites for a successful decentralization of such a system are the same as for wood procurement: the interdependencies between the production stages should be few and the phases should be linked through buffer inventories that enable short term differences between the internal supplies and demands of the intermediate product. The final rankings of the procedures can, however, be found only by testing them numerically in proper existing organizations.

Analysis of this study is based on the approaches established so far. The progress in the planning techniques in general is very fast. Some time from now the classification of the methods in this study may not be valid. A good example of this may be the system dynamics approach. New algorithms including optimization routines that use techniques similar to the system dynamics approach evolve. An example of them is the SDR-procedure by K e l o h a r j u (1975, 1976a, 1977).

But the philosophy behind them may be far different from what the »founding fathers'» basic ideas have been. The orthodox system dynamics school representatives, Dr. Forrester on the top, may not accept these new algorithms to be included in their realm. Then one may conclude that a totally new methodology has been called into existence. An analyst looking for procedures to apply in decentralized wood procurement planning should take these new developments into consideration.

In this study, the starting point for the evaluation of various decentralized planning approaches has been the Dantzig-Wolfe algorithm. We have found that it is not necessarily the best procedure for our case firm. In continuation, research should concentrate also on multiobjective models, such as goal programming, and step-by-step solution techniques, as the discrete simulation. First, the performances of the different types of discrete simulation procedures could be compared in computational experiments. It would be worth while to test whether they should be recursive as, typically, a dynamic program is, or have a »both-end-start» as the discrete simulation has in this study, or possibly forward induction as it was applied to the system dynamics centralized model in section 332 would be the best choice in the experiments. Once the best solution type for the discrete simulation approach is found, it should be compared numerically with the goal programming and Dantzig-Wolfe approaches. Appendix 3 shows example computations of a goal program.

Special attention should be paid to the development of *discrete simulation as a decentralized planning method*. If proper optimization routines were incorporated it could outrank the other approaches of this study. The formulation of these routines is time-consuming. It has been beyond the scope of this study to develop them. Therefore, it is suggested that a separate study be started to find optimizing computer routines for wood procurement planning through discrete simulation.

BIBLIOGRAPHY

Andersin, H. E. and Sulonen, R. 1972. Simuleringsteknik. 368 pp. Studentlitteratur, Lund, Sweden.

Argyris, C. 1965. Organization and Innovation. 274 pp. Irwin and Dorsey, Homewood, Ill.

Arrow, K. J. 1959. Optimization, Decentralization and Internal Pricing in Business Firms. In Contributions to Scientific Research in Management, pp. 9—18. UCLA Press, Los Angeles.

—»— 1964. Control in Large Organizations. Management Science, Vol. 10, No. 3, pp. 397—409.

Atkins, D. 1974. Managerial Decentralization and Decomposition in Mathematical Programming. Operational Research Quarterly, Vol. 25 No. 4, pp. 615—624.

Balas, E. 1966. An Infeasibility — Pricing Decomposition Method for Linear Program. Operations Research, Vol. 14, No. 5, pp. 847—873.

Bare, B. B. 1971. Application of Operations Research in Forest Management. A Survey. Quantitative Science Paper No. 26. 57 pp. University of Washington, Seattle.

Baron, D. P. 1972. Joint Decision Technologies with a Production Marketing Example. In Tuite, M. F., Chisholm, R. K. and Radnor, M. (editors): Interorganizational Decision Making, pp. 162—176. Aldine, Chicago, Ill.

Baumol, W. J. and Fabian, T. 1964. Decomposition, Pricing for Decentralization and External Economies. Management Science, Vol. 11, No. 1, pp. 1—32.

Benders, J. R. 1962. Partitioning Procedures for Solving Mixed Variables Programming Problems. Numerische Matematik, Vol. 4, pp. 238—252.

Benston, G. J. 1975. The Role of the Firm's Accounting System for Motivation. In Rappaport, A. (editor): Information for Decision Making. Quantitative and Behavioral Dimensions, pp. 336—345. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Beuter, J. H. 1973. Techniques for Solving Allocation Decisions. Simple to Complex Systems. In Proceedings of Pacific Northwest and Northern California Joint Section Meeting of Forest Products Research Society, pp. 8—11.

Burton, R. M.; Damon, W. W. and Longhridge, D. W. 1974. The Economics of Decomposition: Resource Allocation vs. Transfer Pricing. Decision Sciences. Vol. 5, No. 3, pp. 297—310.

Caplan, E. H. 1975. Behavioral Assumptions of Management Accounting. In Rappaport, A. (editor): Information for Decision Making. Quantitative and Behavioral Dimensions, pp. 352—360. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.

Charnes, A., Clower, R. W. and Kortanek, K. O. 1967. Effective Control through Coherent Decentralization with Preemptive Goals. Econometrica, Vol. 35, No. 2, pp. 294—320.

Charnes, A. and Cooper, W. W. 1961. Management Models and Industrial Applications of Linear Programming I. 467 pp. Wiley and Sons, New York.

Cook, P. W. 1955. Decentralization and the Transfer Price Problem. Journal of Business, Vol. 28, pp. 87—94.

Dantzig, G. B. 1963. Linear Programming and Extensions. 627 pp. Princeton University Press, Princeton, N. J.

—»— and Wolfe, P. 1961. Decomposition Algorithm for Linear Programs. Econometrica, Vol. 29, No. 4,

Dean, J. 1955. Decentralization and Intracompany Pricing. Harvard Business Review, Vol. 33, pp. 65—74.

Dopuch, N. and Drake, D. F. 1964. Accounting Implications of a Mathematical Programming Approach to the Transfer Price Problem. Journal of Accounting Research, Vol. 2, No. 1, pp. 340—351.

Fielder, E. 1967. A Theory of Leadership Effectiveness. McGraw-Hill. New York.

Fishman, G. S. 1973. Concepts and Methods in Discrete Event Digital Simulation. 385 pp. Wiley and Sons, New York.

Forrester, J. W. 1961. Industrial Dynamics. 464 pp. MIT Press, Cambridge, Mass.

Geoffrion, A. M. 1970. Primal Resource-Directive Approaches for Optimizing Nonlinear Decomposable Systems. Operations Research, Vol. 18, No. 3, pp. 375—403.

Gordon, G. 1969. System Simulation. 303 pp. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. N. J.

Gunther, E. 1974. Working with Personnel. In Duerr, W., Teeguarden, D., Guttenberg, S. and Christiansen, N. (editors): Forest Resource Management. Decision Making Principles and Cases I—II, pp. 31.1—31.17. OSU Bookstores, Corvallis, OR.

Hadley, G. 1963. Linear Programming. 520 pp. Addison-Wesley, Reading, Mass.

Hakkarainen, N. 1973. Johtoryhmä ei ole sotamiesneuvosto. Teoksessa: Johtaja johtaa demokratian vuosikymmenellä. Mielipiteitä ammattimaisen yritysjohdon tehtävistä ja vastuusta 1970-luvun Suomessa (toim. R. Seppälä), pp. 77—79. Rastor-Tietomies. Tampereen kirjapaino-osakeyhtiö, Tampere, Finland.

Halter, A. N. and Dean, G.W. 1971. Decisions under Uncertainty with Research Applications. 266 pp. Southwestern Publishing Co., Cincinnati, Ohio.

Hannus, S. 1974. Continuous Time Computer Simulation as a Decision Analysis Method Applied on Socioeconomic Systems. Helsinki University of Technology, Information Processing Laboratory. Internal Reports 1974: 11. 20 pp.

—»— and Louhenkilpi, T. 1976. Simulointi. 181 pp. Otadata, Otaniemi, Finland.

Harju, T. 1971. Metsäteknikko ja yritysdemokratia. Metsä ja Puu 1971: 10, pp. 9—10.

Hass, J. E. 1968. Transfer Pricing in a Decentralized Firm. Management Science, Vol. 14, No. 6, pp. B.310—B. 331.

Heikkerö, T. E. 1973. Yritys ja ihminen. Teoksessa: Johtaja johtaa demokratian vuosikymmenellä. Mielipiteitä ammattimaisen yritysjohdon tehtävistä ja vastuusta 1970-luvun Suomessa (toim. R. Seppälä), pp. 54—75. Rastor-Tietomies. Tampereen kirjapaino-osakeyhtiö, Tampere, Finland.

Hersey, P. and Blanchard, K. H. 1975. Organisaatiokäyttäytymisen perusteet. 213 pp. Weilin & Göös, Tapiola, Finland.

Hildén, A. T. 1973. Tavoitejohtaminen parantaa esimiehen ja alaisen yhteistyötä. Teoksessa: Johtaja johtaa demokratian vuosikymmenellä. Mielipiteitä ammattimaisen yritysjohdon tehtävistä ja vastuusta 1970-luvun Suomessa (toim. R. Seppälä), pp. 76—77. Rastor-Tietomies. Tampereen kirjapaino-osakeyhtiö, Tampere, Finland.

Hillier, F. S. and Lieberman, G. J. 1972. Introduction to Operations Research. 639 pp. Holden-Day, San Francisco.

Horngren, C. T. 1972. Cost Accounting, A Managerial Emphasis. 963 pp. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.

Ijiri, Y. 1965. Management Goals and Accounting for Control. 191 pp. North-Holland Publishing Company. Amsterdam.

Jennergren, L-P. 1972. Studies in the Mathematical Theory of Decentralized Resource Allocation. 171 pp. The Economic Research Institute of the Stockholm School of Economics, Stockholm.

Johnsen, E. 1968. Studies in Multiobjective Decision Models. Economic Research Center in Lund. Monograph No. 1. 628 pp. Studentlitteratur, Lund, Sweden.

Juutilainen, S. 1975. Dynamo-ohjelmistoversio Exdynamo. Mimeographed. 88 pp. Helsinki School of Economics, Computer Center.

Jääskeläinen, V. 1970. Tuotannonohjaus ja budjetointi. 138 pp. Kyriiri. Helsinki.

—»— 1972. Lineaarinen ohjelmointi ja budjetointi. Ekonomisarja 18. 200 pp. Weilin & Göös. Helsinki.

Kallio, M. J. 1975 a. On Large Scale Linear Programming. Systems Optimization Laboratory, Technical report SOL 75:7. 111 pp. Dept. of Operations Research, Stanford University, Ca.

—»— 1975 b. A Note on Hierarchical Decomposition. European Institute for Advanced Studies in Management. Working paper 75—42. 12 pp. Brussels.

—»— 1977. A Corporate Planning Model. Research Paper D-17. 18 pp. Helsinki School of Economics.

Keipi, K. J. 1976. Transfer Pricing Alternatives for Allocating Logs in a Forest Products Firm. Unpublished Ph. D. dissertation. 217 pp. Oregon State University, Corvallis.

—»— 1977. Transfer Pricing of Log Allocation in a Decentralized Forest Products Firm. Seloste: Hajautetun metsäteollisuusyrityksen sisäinen raakapuun siirtohinnoittelu. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 89.2. 114 pp. Helsinki.

Keloharju, R. 1975. System Size — Methodological Simplification Trade-off in Aggregate Production Planning. Liiketaloudellinen aikakauskirja — The Finnish Journal of Business Economics, Special Edition 1975: 2, pp. 128—146.

—»— 1976 a. Four Papers in System Dynamics. Helsingin kauppakorkeakoulun julkaisuja D-13. 41 pp. Helsinki School of Economics.

—»— 1976 b. Tuotannon resurssien ja niiden käytön suunnittelu. Helsingin kauppakorkeakoulun julkaisuja B-14. 93 pp. Helsinki School of Economics.

—»— 1977. Corporate Modelling in System Dynamics. Helsingin kauppakorkeakoulun julkaisuja D-14. 26 pp. Helsinki School of Economics.

Kilkki, P. and Väisänen, V. 1969. Determination of the Optimum Cutting Policy for the Forest Stand by Means of Dynamic Programming, Acta Forestalia Fennica, Vol. 102. 21 pp. Helsinki.

Knight, W. D. and Weinwurm, E. H. 1964. Managerial Budgeting. 468 pp. MacMillan, New York.

Kortanek, K. O. 1972. Effective Control through Coherent Decentralization in Separably and Non-Separably Structured Organizations. In Tuite, M. F., Chrisholm, R. K. and Radnor, M. (editors): Interorganizational Decision Making, pp. 70—82. Aldine, Chicago; Ill.

Lee, S. M. 1972. Goal Programming for Decision Analysis. 387 pp. Auerbach, Philadelphia, Penn.

Likert, R. 1961. New Patterns of Management. 279 pp. McGraw-Hill. New York.

Ljung, B. and Selmer, J. 1977. The Complete Planning Interpretation of the Dantzig-Wolfe Decomposition Algorithm. 17 pp. University of Stockholm, Dept. of Bus. Administration, Research Report No. 106.

Marschak, T. 1959. Centralization and Decentralization in Economic Organizations. Econometrica, Vol. 27, No. 3, pp. 399—430.

Mayo, E. 1945. The Social Problems of an Industrial Civilization. 176 pp. Harvard Business School. Boston.

McGregor, D. 1966. Leadership and Motivation. 286 pp. The MIT Press, Cambridge, Mass.

McMillan, C. and Gonzalez, R. F. 1965. Systems Analysis. A Computer Approach to Decision Models. 336 pp. Irwin, Homewood, Ill.

Miller, D. W. and Starr, M. K. 1969. Executive Decisions and Operations Research. 607 pp. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.

Pugh, A. L. 1963. Dynamo II User's Manual. 92 pp. MIT Press, Cambridge, Mass.

—»— 1976. Dynamo User's Manual. 131 pp. MIT Press, Cambridge, Mass.

Reddin, W. J. 1967. The 3-D Management Style Theory. Training and Development Journal, Vol. 21, No. 4, pp. 8—17.

Shannon, R. E. 1975. Systems Simulation: The Art and Science. 387 pp. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.

Shillinglaw, G. 1964. Divisional Performance Review: An Extension of Budgetary Control. In Bonini, C. P., Jaedicke, R. K. and Wagner, H. M. (editors): Management Controls, pp. 149—163. McGraw-Hill, New York.

Simon, H. A. 1964. On the Concept of Organizational Goal. Administrative Science Quarterly 1964/65, Vol. 9, No. 1, pp. 1—22.

Swinth, R. L. 1971. Organizational Joint Problem-Solving. Management Science, Vol. 18, No. 2, pp. B. 68—81.

Tannenbaum, R. and Schmidt, W. H. 1958. How to Choose a Leadership Pattern. Harvard Business Review, Vol. 36, No. 2, pp. 95—101.

Taylor, F. W. 1911. The Principles of Scientific Management. Harper & Brothers, New York.

Thomas, K. W., Walton, R. E. and Dutton, J. M. 1972. Determinants of Interdepartmental Conflict. In Tuite, M. F., Chrisholm, R. K. and Radnor, M. (editors): Interorganizational Decision Making, pp. 45—69. Aldine, Chicago, Ill.

Tiainen, V. 1971. Yritysdemokratia metsäosastolla. Metsä ja Puu. 1971: 10, pp. 5—7.

Wagner, H. M. 1970. Principles of Management Science with Applications to Executive Decisions. 562 pp. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.

Whinston, A. 1964. Price Guides in Decentralized Organizations. In Cooper, W. W., Leavitt, H. and Shelly, M. W. (editors): New Perspective in Organization Research, pp. 405—448. Wiley, New York.

Yu, P. L. 1973. Class of Solutions for Group Decision Problems. Management Science, Vol. 19, No. 8, pp. 936—946.

Zschau, E. 1967. A Primal Decomposition Algorithm for Linear Programs. Unpublished Ph. D. dissertation. 128 pp. Stanford University, Ca.

SELOSTE

Tutkimuksen puitteet

Tämä selvitys on jatkoa tutkimukselleni »Hajautetun metsäteollisuusyrityksen sisäinen raakapuun siirtohinnoittelu» (Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 89.2), jossa käsitellään hajautusta koko yrityksessa. Yhtiön metsä- ja tehdasosastot ovat tällöin itsenäisiä tulosyksiköitä. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan desentralisaatiota pelkästään metsäosastossa kuten kuvasta 1 käy ilmi.

Tutkimusaihe on ajankohtainen, sillä metsäteollisuusyritysten metsäosastojen alijohtajat ovat nykyisin yhä enemmän mukana päättämässä puun hankinnasta. Sekä yhteiskunnassa että yritysmaailmassa ovat viime aikoina »desentralisaatio», »hajasijoittaminen», »osallistuva päätöksenteko» ja »yritysdemokratia» muodostuneet yleisesti käytetyiksi iskusanoiksi. Tämän tutkimuksen pyrkimyksenä ei ole propagoida hajauttamista. Oletetaan vain, että syystä tai toisesta yritys noudattaa desentraalisaatiota päätöksenteossaan. Puunhankinnan suunnitteluun se haluaa käyttää parhaita mahdollisia menetelmiä.

Tutkimus kohdistuu tyypillisen suomalaisen, keskisuuren tai pienen, integroidun yrityksen metsäosastoon. Osasto on epäitsenäinen palveluyksikkö, jonka tehtävänä on täyttää tehtaiden puuntarve mahdollisimman pienin kustannuksin. Sillä on funktionaalinen organisaatio, jota pelkistetyimmillään edustaa kuva 4 b. Tässä tutkimuksessa keskitytään metsäpäällikön sekä osto-, korjuu- ja kaukokuljetuspäällikön muodostaman johtoryhmän toimintaan. Ryhmän tehtävänä on huolehtia kuva 5 osoittamista toiminnoista. Kuva 6 esittää vastuujakoa alijohtajien kesken. Osastopäällikkö huolehtii puun pysty- ja hankintaostoista. Hän on vastuussa leimikkovarastoista. Korjuupäällikkö vastaa kaadosta ja puun lähikuljetuksesta tienvarsivarastoon sekä päättää yhtiön omien metsien hakkuista niille laaditun pitkän tähtäimen suunnitelman mukaisesti. Hän on vastuussa tienvarsivarastoista. Kaukokuljetuspäällikön tehtäviin kuuluu tienvarsivarastoon toimitetun puun kuljetus tehdasvarastoon tehtaiden käyttöä varten. Hän huolehtii tässä tutkimuksessa oletetun vastuujaon mukaan myös puun vaihto-ostoista ja -myynneistä muiden yritysten kanssa. Tutkimuskohdetta kuvaa yksityiskohtaisesti liitteen 31 (keskitetyn) puunhankinnan lineaarinen ohjelma.

Puun hankinnan vuosisuunnitelma voidaan jakaa ajallisesti pienempiin osiin, joiden pituus riippuu lähinnä käytetystä kaukokuljetusmuodosta. Esimerkiksi uitto vaatii pitkän suunnittelujakson. Tutkimuksessa oletetaan kaukokuljetuksen tapahtuvan pääasiassa kuorma-autoilla. Vuosi on jaettu vuosineljänneksiin. Tämä suunnittelun ajallinen jako on Suomen metsäteollisuusyhtiöiden yleisesti käyttämä.

Tutkimuksen tavoitteena on esitellä ja verrata pääasiassa teoreettisesti seitsemää puunhankinnan suunnittelumenetelmää. Tarkoituksena on auttaa tehtävien mukaisesti hajautetun metsäosaston päällikköä sopivan menetelmän valinnassa. Tätä varten malleja verrataan keskenään ja niistä parhaiksi todettuja esitellään lähemmin.

Tutkimuksen kulku

Tutkimus etenee kuvan 7 osoittamalla tavalla. Aluksi esitellään hajautuksen perusteita, ja puun hankinnan sisältöä suomalaisissa metsäteollisuusyrityksissä. Luvussa 11 käsitellään desentralisoinnin käsitettä yleensä ja luvussa 12 esitellään hajautetun resurssien allokoinnin erään perusmenetelmän,

Dantzig-Wolfe-algoritmin käyttöä. Luku 13 ja liite 1 selvittävät puunhankinnan suunnittelun vaiheita käytännössä. Puunhankinta tapahtuu metsäosastoissa, jotka pienissä ja keskisuurissa yrityksissäkin yhä enenevässä määrin ovat siirtyneet perinteisestä linjaorganisaatiosta toimintokohtaiseen organisaatioon (kuva 4). Erikoistuminen on lisännyt jossain määrin alijohdon itsenäisyyttä päätöksien teossa. Toisaalta tarvitaan yhteistoimintaa näiden erikoismiesten välillä. Siten on, usein epävirallista tietä, syntynyt metsäosaston johtoryhmä, jota koordinoi metsäpäällikkö. Useimmiten metsäpäällikkö ja ostopäällikkö laativat yleissuunnitelman. Aluesuunnitteluun osallistuu jossain määrin myös alijohto.

Kentän metsämiesten haastattelut osoittavat, että mahdollisuudet entistä suurempaan hajautukseen ovat sangen hyvät. Hajauttamisen suurin heikkous aiheutuu alijohdon ja päällikön tavoitteiden ristiriitaisuudesta. Tämä puolestaan johtaa helposti kokonaisuuden kannalta huonoon puunhankinnan suunnitteluun. Metsäosastojen alijohdolla on kuitenkin hyvä halu yhteistyöhön metsäpäällikön kanssa. Hajautetussakin puunhankinnassa voidaan siten päästä kokonaisuuden kannalta parhaaseen ratkaisuun ja hajauttamisen suurin heikkous vältetään. Toisaalta saavutetaan hajautuksen suuri etu: alijohdon motivaatio paranee. Haastattelujen perusteella voidaankin päätellä, että alijohto katsoo vaikuttimiensa hyviin suorituksiin lisääntyvän entisestään, jos sen ääntä kuullaan.

Hajautetun puunhankinnan suunnittelun menetelmän on täytettävä tietyt vaatimukset ennenkuin sitä voidaan käytännössä soveltaa. Kyseisiä vaatimuksia tarkastellaan luvussa 2. Valittavan menetelmän tulisi olla *halpa* ja *käyttökelpoinen* erilaisissa käytännön tilanteissa ja sen tulisi *johtaa* koko metsäosaston kannalta *optimaaliseen puunhankintasuunnitelmaan*. Menetelmien käyttökelpoisuutta arvioidaan kyseisten kolmen kriteerin valossa luvussa 3. Menetelmät jakaantuvat kolmeen pääryhmään sen mukaan, miten toimintojen suunnitelmat yhdistetään metsäosaston kokonaissuunnitelmaksi (kuva 9). Yhteensovittamisen parametrina voidaan käyttää joko rahaa tai puumääriä. Rahaa käyttävät seuraavat menetelmät:

1. Dantzig-Wolfe dekompositioperiaate
2. Hintasääntelymenetelmä
3. Korvausmenettely

Kahdessa ensimmäisessä menetelmässä koordinointi tapahtuu sisäisen siirtohinnoittelun avulla. Korvausmenettelyssä siihen tarvitaan sivumaksuja. Puumäärät ovat parametreina seuraavissa menetelmissä:

4. Tavoiteohjelmointi
5. Systeemidynamiikka
6. Diskreetti simulointi

Tavoiteohjelmoinnissa alijohtajien hankittavia puumääriä koskevat tavoitteet käsitellään metsäosaston keskuskonttorin tavoiteohjelmassa. Systeemidynamiikan ja diskreetin simuloinnin menetelmissä toimintojen koordinoiminen tapahtuu pääasiassa ohjaavien rajoitteiden (guiding constraints) avulla. Tavallisimmin desentralisointi toteutettaneen yrityksissä tällä hetkellä keskustelujen kautta:

7. Puhdas neuvottelu

Edellä luetelluista menetelmistä kolme ensimmäistä esiintyy hajautusta koskevassa liiketaloudellisessa kirjallisuudessa. Jennergren (1972) luettelee koko joukon tällaisia hajautettuun liiketaloudelliseen päätöksentekoon soveltuvia »dekompositiomenettelyjä». Niitä ovat mm. Lasdonin dekompositioalgoritmi, Takahashin ja Everettin menetelmät, Geoffrionin »large-step subgradient» -menetelmä ja Zschaun dekompositioalgoritmi. Tarkasteltuaan lisäksi budjetoinnin käyttöä hajautetun

suunnittelun välineenä, Hirschleiferin esittämään sisäisen siirtohinnoittelun menetelmää sekä Weitzmanin, Kornain ja Liptakin, Bendersin sekä Rosenin ja Kaulin dekompositioalgoritmejä Jennergren toteaa, että Dantzig-Wolfe -algoritmi, hintasääntelymenettely ja korvausmenettely ovat hänen tutkimuksen mukaan parhaat resurssien hajautetun allokoinnin menetelmät. Siksi tässä esityksessä tarkastellaan »dekompositiomenettelyistä» ainoastaan hänen suosittelemaansa kolmea vaihtoehtoa.

Tavoiteohjelmointi on lineaarisen ohjelmoinnin muunnos. Lineaarinen ohjelmointi on perinteinen keskitetyssä resurssien allokoinnissa käytetty operaatiotutkimuksen menetelmä. Tavoiteohjelmoinnissa alijohtajat ratkaisevat omat osaongelmansa ja esittävät operatiiviset tavoitteensa metsäpäällikölle. Metsäosaston pääkonttorissa lyödään sitten lukkoon koko osaston ns. tavoiteohjelma, jonka objektifunktiossa esiintyvät alijohdon tavoitteet.

Systeemidynamiikka edustaa jatkuvan simuloinnin malleja. Jatkuva ja diskreetti simulointi ovat perinteisiä (useimmiten keskitettyyn päätöksentekoon käytettyjä) numeerisia operaatioanalyysin menetelmiä. Tässä tutkimuksessa niitä on muokattu hajautetun puunhankinnan organisaatiossa sovellettaviksi. Suunnitelma oletetaan laadittavaksi vaiheittain siten, että ensin ratkaistaan kuljetuksen ja oston vaihtoehtoiset ohjelmat ja näiden laskennallisesta yhteensovittamisesta vastaa sitten korjuupäällikkö. Lopullinen suunnitelma lyödään lukkoon metsäpäällikön ja kaikkien alijohtajien läsnäollessa. Puhdas neuvottelu on yksinkertainen »menetelmä». Siinä alijohtajat pääsevät keskustelujen kautta vaikuttamaan lopulliseen puunhankintasuunnitelmaan.

Tulokset

Tutkimuksen tulokset osoittavat, ettei mikään tarkasteltavina olevista menetelmistä täytä kaikkia niille asetettuja vaatimuksia. Taulukko 2 sisältää yhteenvedon. Heikoimmin soveltuvia ovat hintasääntelymenetelmä ja systeemidynamiikka. *Hintasääntelymenetelmä* on hidas tapa suunnitella puunhankintaa. Se asettaa osto- ja korjuupäälliköt tulosvastuuseen. Kuljetustoiminta jää kustannusyksiköksi, mikä saattaa alentaa korjuupäällikön motivaatiota hyviin suorituksiin. Se ei johda globaaliseen optimiin. Se toteuttaa kustannus- ja käyttökelpoisuusvaatimukset kohtalaisesti ja optimaalisuuskriteerin huonosti. *Systeemidynamiikka* on alun perin suunniteltu prosessituotannon ongelmien ratkaisuun. Se soveltuu rakenteensa puolesta huonosti hajautetun puunhankinnan menetelmäksi, koska toimintokohtainen hajautus katkaisee hankintaprosessin osiin.

Dantzigin ja Wolfen dekompositioperiaate on kallis menetelmä, käyttökelpoisuudeltaan samaa luokkaa kuin hintasääntelymenetelmä. Sen vahvana puolena on mahdollisuus globaalisen optimin saavuttamiseen. Tässä suhteessa se lyö laudalta kaikki muut menetelmät. Käytännössä optimiin pääseminen vaatii kuitenkin niin monia tiedonkierrätysiteraatioita alijohtajilta metsäpäälliköille ja takaisin, ettei se kohtuullisin kustannuksin ole mahdollista.

Tavoiteohjelmointi on halpa menetelmä, koska tiedonvaihtoiteraatioita ei tarvita. Alijohtajat saattavat pitää laskelmansa suhteellisen yksinkertaisina. Laskentatyön vaikein osa jää metsäpäällikölle. Alijohdon operationaaliset tavoitteet otetaan huomioon, mikä parantaa sen motivaatiota. Käyttökelpoisuudeltaan menetelmää voi pitää kohtalaisena. Tavoiteohjelmointi on eräs lineaarisen ohjelmoinnin muoto. Se tuottaa globaalisesti optimaalisen puunhankintasuunnitelman, jos käytettävissä oleva tieto pitää paikkansa. Alijohdon ilmoittamat tiedot eivät aina ole yksityiskohtaisia eivätkä paikkansapitäviä. Globaaliseen optimiin pääsyn mahdollisuuksia voidaan tavoiteohjelmoinnin kyseessä ollen pitää kohtalaisen hyvinä.

Kolme jäljelle jäävää menetelmää näyttävät toteuttavan valintakriteerit yhtä hyvin. Ne ovat halpoja ja käyttökelpoisia menetelmiä, mutta eivät johda globaalisesti optimaaliseen puunhankintasuunnitelmaan. Rakenteeltaan ne poikkeavat toisistaan kuitenkin huomattavasti. *Korvausmenettely* perustuus alijohtajien keskinäisiin neuvotteluihin ja niihin liittyviin sivumaksuihin, *puhdas neuvottelu* keskusteluihin ilman sivumaksuja. *Diskreetti simulointi* on kokeellinen menetelmä, jossa tietokonetta käytetään hyväksi.

Näistä kolmesta näköjään yhtä hyvästä menetelmästä tulisi valita soveltuvin. Valinnan helpottamiseksi asetetaan kolme lisäkriteeriä. (1) Menetelmän tulisi muistuttaa mahdollisimman paljon jo käytössä olevia suunnittelusysteemejä. (2) Menetelmään tulisi sisältyä mahdollisimman vähän »kaupanhierontaa» (bargaining), koska sen tuloksena syntyvä suunnitelma ei suinkaan ole koko metsäosaston kannalta paras mahdollinen, vaan kuvastaa ainoastaan alijohtajien kykyä pitää neuvottelussa puolensa. (3) Menetelmän tulisi olla matemaattisesti muotoiltavissa, jotta sitä voidaan kokeilla laskennallisesti ennen käyttöönottoa. Ensimmäisen vaatimuksen täyttää parhaiten puhdas neuvottelu. Sivumaksujen käyttöä ei suomalaisten metsäyritysten puunhankinnasta päätettäessä esiinny. Diskreettia simulointia on sovellettu toistaiseksi vasta harvoissa yrityksissä. Toinen kriteeri suosii diskreettia simulointia, koska kaupanhieronta liittyy neuvotteluihin, joilla diskreetin simuloinnin menetelmässä on suhteellisen vähäinen merkitys. Myös kolmannen vaatimuksen toteuttaa diskreetti simulointi parhaiten. Kyseiset kaksi muuta menetelmää eivät ole matemaattisesti muotoiltavissa. Korvausmenettelystä, puhtaan neuvottelun menetelmästä ja diskreetin simuloinnin metodista viimeksi mainittu valitaan.

Lopullinen erityyppisten menetelmien *vertailu tapahtuu Dantzigin ja Wolfen dekompositioperiaatteen, tavoiteohjelmoinnin ja diskreetin simuloinnin välillä.* Niistä parasta ei voida valita tuntematta kulloisenkin päätöksentekijän menetelmille asettamien kustannus-, käyttökelpoisuus- ja optimaalisuustavoitteiden keskinäistä painotusta (kuva 19). Jos hänellä on varaa kokeilla teoreettisesti pitkälle vietyä menetelmää, joka käytännössä tuottaa globaalisesti optimaalisen tuloksen vasta hyvin kalliiden iteraatioiden tuloksena, hänen valintansa osuu Dantzig-Wolfe-menetelmään. Jos rahaa on rajoitetusti ja hän pyrkii lähelle optimaalista suunnitelmaa, hän valisee tavoiteohjelmoinnin. Jos investoinnin on oltava pieni ja menetelmän käyttökelpoisuus saa suuremman painon kuin optimaalisuuden tavoittelu, valinnan kohteena on diskreetti simulointi.

Tuloksista voidaan päätellä, että diskreetti simulointi saattaisi olla menetelmistä soveliain, jos siihen voitaisiin liittää automaattinen optimointimekanismi. Optimointirutiinin kehittäminen olisi tärkeä jatkotutkimusten aihe. Kolmen ehdotetun metodin lopullinen paremmuus ratkeaa vasta, kun niitä kokeillaan laskennallisesti olemassa olevissa puunhankintaorganisaatioissa. Jatkotutkimusten tärkeänä aiheena olisi menetelmien kehittäminen myös maantieteellisesti hajautettua puunhankintaa varten suurissa metsäteollisuusyrityksissä.

Appendix 1. WOOD PROCUREMENT PLANNING IN PRACTICE

11. Planning Process

In order to describe the wood procurement in practice, foresters of several Finnish companies have been interviewed.[1]) The following conclusions are based on these interviews and other observations. The establishment of the annual plan usually has three phases according to the level of specification of the plan. First, a pilot plan is prepared, primarily by the timber division head and usually assisted by the purchase manager. In the pilot plan the whole division is considered as one unit. Second, a preliminary plan, still primarily prepared by the division head and purchase manager, is developed. In it, the harvest regions are separated. Third, all the function and regional managers participate in the detailed regional wood procurement planning.

Establishment of a traditional budget in any firm usually starts from a key process such as sales, and proceeds to the less important functions. In the first two planning phases the Finnish forest products firms predominantly apply budget-type wood procurement planning. For the wood procurement *pilot plan* the mills' log need, for the preliminary plan, purchasing act as starting points. The pilot planning procedure is sketched in Figure A 1. The starting point (0) is the mills' demand for timber. The pilot (1) purchase plan is adjusted according to the timber use, desired mill, road side and stumpage inventory changes, and purchase possibilities. Based on the mills' timber use, desired mill inventory levels, possibilities of trading timber with other firms and transportation capacities, the pilot (2) transportations plan is then worked out. In the final step the pilot (3) logging plan is set up for timber available from purchases and required for transportation, when knowing the logging possibilities, standing timber inventories available and the desired changes in the road inventory level. The fitting together of the transportation and purchase schedules through the logging plan may

---

[1]) The officers interviewed are:

Matti Gynther	regional forester Osuuskunta Metsäliitto
Petteri Hakkarainen	purchase manager Saastamoinen Yhtymä Co.
Esa Mäki-Petäys	regional forester Kajaani Co.
Matti Mäkitie	purchase manager Enso Gutzeit Co.
Juho Nykänen	logging and transportation manager Saastamoinen Yhtymä Co.
Esa Rouhiainen	timber division manager Saastamoinen Yhtymä Co.
Jorma Salminen	information system manager Tehdaspuu Co.
Olli Sarantola	timber division manager Kajaani Co.
Matti Ylinen	research and development manager Puulaaki Co.

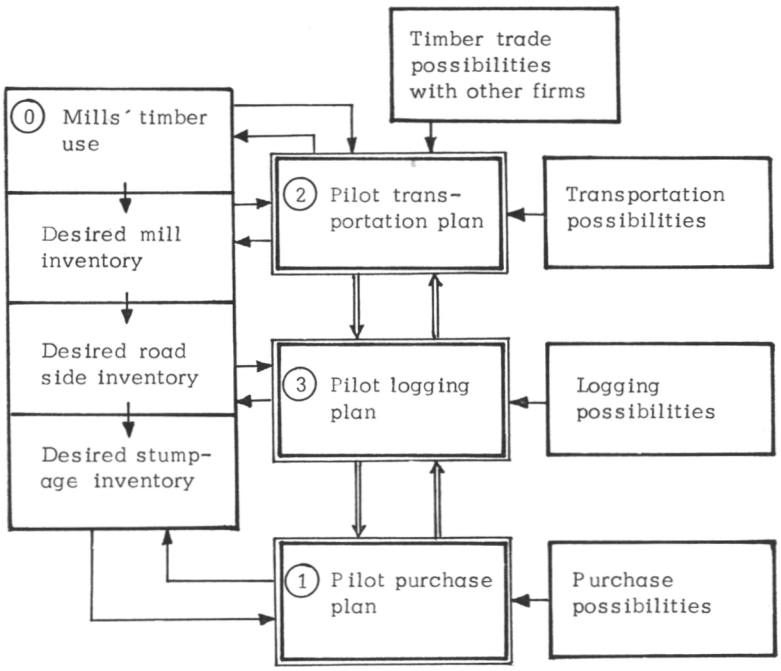


Figure A 1. The order (0—3) of compilation of the pilot wood procurement plan.

Kuva A 1. Puunhankinnan alustavan kokonaissuunnitelman laatimisen vaiheet (0—3).

be infeasible in the first trial. For finding feasible solutions iterations may become necessary. The inventory requirements are readjusted and new transportation, purchase and logging possibilites are considered. Of the firms interviewed, Kajaani Co. would apply a slightly different pattern: there the pilot logging plan would precede the transportation plan.

The pilot plan is followed by *preliminary regional plans* as shown in Figure A 2. The regional plans, too, are assembled in a step-by-step fashion, but in different order. The regional preliminary (1) purchase plans are followed by the regional preliminary (2) logging and (3) transportation plans. In iterations, several feasible solutions for preliminary wood procurement plans are sought for. The final, *detailed regional plans* are put together in the meetings of the function managers and their regional subordinates. This is the phase where most negotiations take place.

To summarize, the timber division head is responsible for the wood procurement as a whole. Historically, the timber divisions' decision making has been centralized to him in Finland. This is due to the fear that decentralization leads to dysfunctional decisions (H a k k a r a i n e n 1973, p. 77). The transportation, logging and purchase managers are invited to the preparation of the pilot and preliminary wood procurement plans only to the extent that the head needs their assistance in data collection. The function managers' participation in planning takes place in the final phase, in deciding about the detailed regional plans.

The firms generally wish to get away from the stepwise budget-type planning approach described above. They would rather use computerized procedures that would allow a simultaneous solution for the whole division at a time. After disappointing trials they have returned the traditional approach which, at least, brings about satisfactory plans.

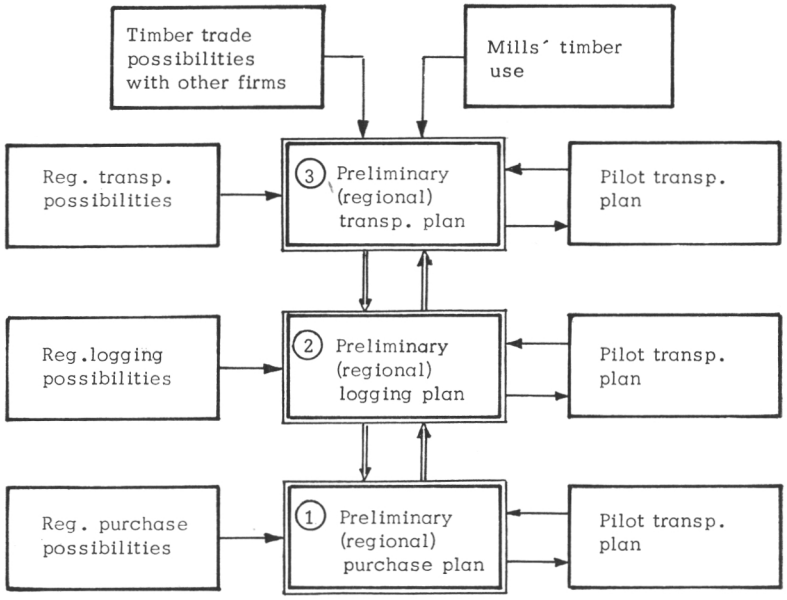


Figure A 2. The order (1—3) of compilation of the preliminary wood procurement regional plan.

Kuva A 2. Alustavan aluekohtaisen puunhankintasuunnitelman laatimisen vaiheet (1—3).

12. Planning Techniques Applied

The development of techniques for wood procurement planning in the Finnish forest products firms could be divided into five phases. These are:

1) traditional budgeting
2) partial optimization models
3) total optimization models
4) experimental computer approaches (include simulation)
5) decentralized planning techniques (still to come).

The optimization models started when linear programming was developed. Its first applications in forest products firms were in the lumber recovery studies (B a r e 1971, p. 4). The non-linear and integer programming of Figure A 3 are direct descendents of linear optimization. Dynamic programming has been suggested to be used, for example, in the determination of optimal harvesting strategies (e.g. K i l k k i and V ä i s ä n e n 1969). Most of the practical applications of these models are partial.

The coordination of partial models is difficult. Therefore the timber division heads have made strong efforts to create and apply total wood procurement optimization models, mostly linear programming. Unfortunately, these trials have been unsuccessful. The models have become too large, hard and expensive to handle. Even linear programming, computationally

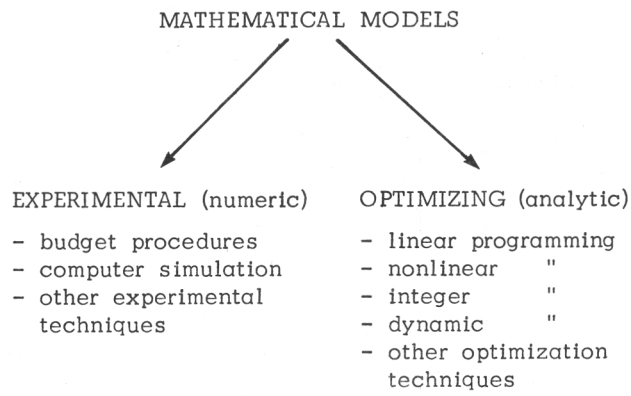


Figure A 3. Types of mathematical planning models.
Kuva A 3. Matemaattisten suunnittelumenetelmien luokittelu.

the simplest of the optimization models advocated, has proved not to be applicable in many wood procurement problems, especially in 1972—73 in the U.S.A. and some years later in Finland. The rapidly changing market conditions required fast decisions. The information processing for the total models took too much time. According to Beuter (1973 p. 8) in those years the extremely high prices made the linearity assumption of linear programming unjustified. As a result, American forest products firms much gave up the application of mathematical annual planning methods. In Finland, the reaction was considerably smaller because the expectations as to the usefulness of these tools were smaller, too.

The changing market conditions have called for flexible wood procurement planning methods. Today, simulation is becoming popular among the forest products firms. Most companies, however, still cling to the traditional budget-type planning. Sophisticated mathematical tools are used only for pilot surveys to search for the limits of the feasible plans. For the most part, the only techniques applied are the linear programming and discrete simulation approaches (Kanerva, personal interview).

Discussions, especially with young timber division executives, indicate that decentralization in the wood procurement planning is increasing. This development results from the advantages of decentralization touched in section 11. The problem of finding a suitable method for decentralized wood procurement planning evolves. The most common ways of handling decentralization are more or less formal negotiations between the function managers and the division head. Also other alternatives are discussed in Chapter 3 and the best of them chosen in Chapter 4 of this study.

13. Managers' Goals

The practical men agree about the timber division's role in the whole forest products firm's organization. Timber division in Finland is (and should be) a nonautonomous cost center. It acts as a service department to the mills. A minimum total amount of wood is needed to keep the mills running and the timber grades procured must be such that the firm's or mills' profits are maximized. Wood procurement must be planned in such a way that not only are the mills' needs for the planning period satisfied but there must also exist enough

timber in inventories at different points in the wood procurement process in the anticipation of the future demands. The wood procurement goals have been, in the first place, operational focusing on timber volumes and, in the second place, financial, referring to costs. The cost controlling goals have gained importance in recent years and are probably going to gain it even more in the future. According to the interviews the goals in their dominant order of priority of the *timber division head* in a Finnish forest product firm are:

1) satisfying the mills' qualitative (timber grade) and quantitative (timber volume) demands
2) sufficient mill inventories for the mills' future timber demands
3) sufficient stumpage and road side inventories in the year for an operational wood procurement during the coming years
4) wood procurement cost minimization
5) keeping the financial budget constraint for the division
6) maintaining a balance in the timber exchange with (purchase from and sales to) other firms
7) keeping the annual cutting plan of the firm's own forest.

It is evident from the interviews that the timber division head is eager to fix clear operative wood procurement goals. He is especially determined to keep the goals of high priorities — the first three or four goals of the list. For two of the companies the budget goal is more important than the stumpage and road side inventory or cost minimization goals. This was quite understandable at the time of the interview when these firms had serious liquidity problems.

The interviewees unanimously agree that the function managers themselves set goals for their work performance. These goals may be affected by what the function managers think the division head expects of them. Usually they readily accept the goals given from above.

According to the interviews the *transportation manager* usually sets his goals in the following order:

1) satisfying the mills' qualitative and quantitative timber demands
2) sufficient mill inventories at the end of the year for the mills' future timber demands
3) transportation cost minimization
4) employing the transportation resources at their normal capacity levels
5) mill inventory cost minimization by keeping the inventories small.

For one of the companies, the mill inventory cost minimization goal has been given the second highest priority.

The *logging manager*'s goals for his job tend to be:

1) satisfying the timber needs of the transportation function *and* logging cost minimization
2) employing of logging resources at their normal capacity levels
3) sufficient road side inventories at the end of the year, for the future timber needs
4) road side inventory cost minimization by keeping the inventories small
5) following the cutting plan when harvesting timber from the firm's own forest.

There is much variation in the priority of the logging goals among the people interviewed. A slight majority gives the operative goal of satisfying the timber needs of the transportation

function the highest priority. Almost half of them think that logging cost minimization is the most important goal. Some of the last-named consider the best employment level of logging equipment to be the next most important goal after the cost minimization target.

The *purchase manager* mostly orders his work goals as follows:

1) satisfying the timber needs of the logging function
2) sufficient stumpage inventories at the end of the year, for the future timber needs
3) average stumpage purchase cost minimization
4) sufficient delivery purchases for keeping up the road side inventories
5) average delivery purchase cost minimization
6) stumpage inventory cost minimization by keeping the inventories small.

The interviewees have also been asked about the long-term goals of wood procurement planning. Reaching certain buffer stock levels in the end of each planning horizon is considered more important than financial or cost goals. Thus, in the long-term as in the short-term planning the operational — timber volume — targets outweigh the monetary targets. Gaining sufficient buffer stocks at the mills is considered more important than attaining those at the road side or on stump.

14. Attitudes towards Decentralization

The men of practice, mentioned in Appendix 11, have been asked some 40 questions to survey their opinions about decentralization. Many of the questions are based on the description of Caplan (1975, pp. 353—354) on the assumption of different behavioral theories. A major drawback of decentralization is dysfunctional decision making which comes from the incongruence of the goals of the participants. The purpose of the interviews of Appendix 13 was to find out especially how congruent the participants' goals are. In this section we discuss answers to questions still concerning the managers' individual and the timber division's overall goals. But we also consider the opinions on the employees' motivation and the abilities of the function managers for independent decision making. The results could be summarized as follows.

The aim of planning is considered to be producing goals for the functional managers to implement. The majority (70···100 per cent) of these goals should come from the timber division head. Only a small proportion (0···30 per cent) of the goals in the final wood procurement plan could then originate from the function managers themselves. The timber division management objectives should not be a conglomeration of the individual managers' goals. The divisional objectives are equal to the division head's goals. A planning system should aid to the controlling of the subordinates' performance. A formal control from the top is more efficient than the subordinates' self critique. The interviewees are of the opinion that the subordinates always set personal goals for themselves in their wood procurement planning. Personal goals are given even when there is little hope that they would be considered by the timber division head. The function managers are cooperative and loyal to their chief. The personal goals tend to approach instinctively to the goals of the division head.

The practical men agree that the function managers' *motivation* results from many psychological, social and economic needs. They feel that participation in planning may improve the motivation to perform well (cf. Heikkerö 1973, p. 75; Hildén 1973, p. 77). They reject the argument of the proponents of centralization who claim that the function managers are, by nature, inefficient at work. They do not accept the hypothesis that the function managers' basic motivation to work well mainly comes from the desires for increasing the salary or the fear of being fired. The managers

want to work for the best of the firm. A fair portion (25···75 per cent) of the planning input should be given for guaranteeing that the subordinates are motivated to implement the plan. The rest (75···25 per cent) of the work input is calculation techniques. In principle, taking into consideration of the function managers' motivation is important. In practice, however, the managers are always quite loyal to their chief. In the opinion of the interviewees, the managers' participation in the decision making does not necessarily improve the timber division's economic result.

The men of practice agree that the function managers do not lack ability for independent planning. The managers understand the whole wood procurement process. They can view large entities in their decision making. If accessible to large amount of information and given the right for more independent decisions decentralized wood procurement planning could work in practice, too. The interviews show that almost every function manager would like to increase his part in the division's decision making. The younger the manager is, the stronger is this desire, and the more he is familiar with the results of the present-day organizational research that favors decentralization (cf. H a r j u 1971, pp. 9—10).

The older the manager is and the higher position he has in the timber division's organization, the more conservative he tends to be. Traditionally, the timber division heads have been quite authoritative leaders. Therefore, it is understandable that they are rather suspicious of the new ideas of participation in business decision. This has not prevented them from sending their younger subordinates to attend business management courses proposing increased decentralization. Inevitably, the new ideas that in other business branches have gained steady foothold have entered the forest products firms' timber division, too. Participative decision making is a frequent discussion topic in the timber divisions of today.

The question arises: why do the Finnish forest products firms abstain from furthering decentralization in wood procurement planning? Probably the main reason is the newness of the idea. Another reason is the high loyalty of the subordinates to their chiefs. The top managements of the companies believe that the loyalty under centralization is so strong that the increased motivation under decentralization does not improve the timber divisions' performance significantly. But the cooperativeness of the managers also takes away the most important hindrance of decentralization — the goal incongruence. The interviews indicate that decentralization in planning would possibly increase the functional managers' motivation to perform well. Thus the two major prerequisites for decentralization — goal congruence and motivation — would suggest to the firms to practice more decentralization. The managers do not lack skills for independent planning which would also speak for decentralization.

The interviews show that the managers see decentralization as a good principle. Most practical men consider decentralization as »a positive approach» or »a desirable direction for the future wood procurement planning». The executives are beginning to see the advantages of decentralization. It is the belief of the author, based on discussions with practical men, that the conditions for growing participation in planning are favorable in the forest products firms' timber divisions. In the future, decentralization is bound to increase. There is a need for finding acceptable decentralized planning methods. The objective of this study is to try to fulfill this need.

Appendix 2. WOOD PROCUREMENT SIMULATION MODELS

21. System Dynamics Approach under Centralization

Figure A 4 shows a rough system dynamics description of wood procurement planning under centralization. The sources of timber are on the left and destination on the right side. The symbols relate to those applied for problems (a.1) and (a.2) in the appendices 31 and 32. The »valves» depict timber flow rates and the »boxes» stocks of timber in inventories. The constants and auxiliary function (described by symbols »-•—» and »0») regulate the flows and levels.

The stumpage purchase flow is regulated by auxiliary L through minimum and maximum stumpage purchase volume constraints and coefficients that guarantee that different timber grades are purchased in the proportions they exist in the forest. Stumpage purchases are controlled through a feedback by the stumpage inventory through auxiliary S. It depends on the beginning and required ending stumpage inventory for the whole planning horizon. It also depends on volume growth of the standing trees. Delivery purchases are constrained in alike fashion by the minimum and maximum volumes and the proportion grades can be bought through auxiliary V. They are regulated by a feedback from the road side inventory through auxiliary R.

Logging of purchased timber uses the wood of the stumpage inventory. Logging of purchased and the firm's own timber are regulated by the manpower and machine productivities and capacities through auxiliaries X_1 and X_2. Logging of own timber is guided by auxiliary Z. Constants rx_{ijt} and rz_{ijt} guarantee that different timber grades are logged in the proportions they exist. Logging, like delivery purchases, receives feedback from the road side inventory through auxiliary R. Timber is transferred further to the company's own mills or sold to other firms. Transportation is adjusted by equipment productivity and capacity through auxiliary Y. Timber sales to other firms must closely follow in their total value to the timber purchases from them. This is carried out by auxiliary Yo that registers also timber for market prices trading. There is a feedback to timber purchase and transportation through auxiliary M from the quarterly mill inventory. The mills' timber demand is a known constant D_{jkt}.

In the figure we see that the feedbacks are essential elements of the system dynamics approach (cf. K e l o h a r j u 1976, p. 7). There is a feedback from every level to the previous flow elements. The wood procurement process ends to the inflexible mills' demand for timber. The heavy restrictions require feedbacks also between functions. There is one ($\hat{Y}$) from transportation to logging and another one ($\hat{X}$) from logging to purchases. These functional feedbacks smoothen and fasten centralized planning but they are also the major elements needed to make centralized wood procurement decentralized.

Flow variables for the system dynamics approach under centralization:

u_{ijt} = stumpage purchases of grade j timber in area i, cu.m./period t

v_{ijt} = delivery purchases of grade j timber in area i, cu.m./period t

z_{ijt} = harvest of grade j timber from the firm's own forest to the road side in area i, cu.m./period t

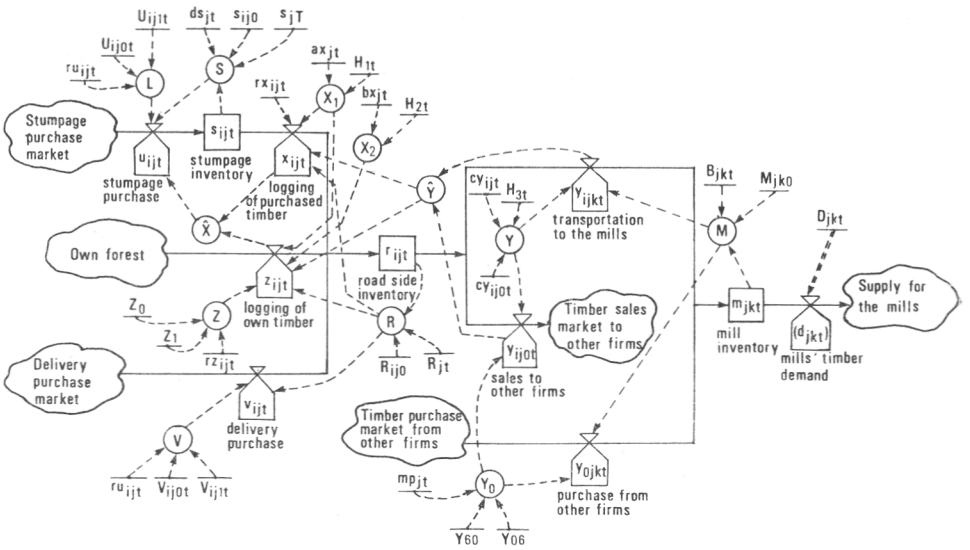


Figure A 4. System dynamics diagram for centralized wood procurement planning.
Kuva A 4. Keskitetyn puunhankinnan suunnittelun systeemidynaaminen kaavio.

x_{ijt} = logging of grade j stumpage purchased timber to the road side in area i, cu.m./period t

y_{ijkt} = transportation of grade j timber from the road side to mill k from area i, cu.m./period t

y_{ijot} = sales of grade j timber and transportation from the road side to other firms from area i, cu.m./period t

y_{ojkt} = purchase of grade j timber from other firms, cu.m./period t

$(d_{jkt}$ = mill k demand for grade j timber, a given figure D_{jkt} by the mill division, cu.m./period t)

Stock variables for the system dynamics approach under centralization:

s_{ijt} = timber grade j stumpage inventory in area i at the end of period t, cu.m.

r_{ijt} = timber grade j road side inventory in area i at the end of period t, cu.m.

m_{jkt} = timber grade j inventory at mill k at the end of period t, cu.m.

Auxiliaries for the system dynamics approach under centralization

L = stumpage purchase timber possibilities where

U_{ijot}, U_{ij1t} = minimum and maximum amounts of grade j timber available for stumpage purchase in area i, cu.m./period t

ru_{ijt} = relative quantity of grade j timber to be stumpage or delivery purchased in area i if any other grade is purchased in that area during period t

S = stumpage inventory situation where

S_{ijo} = stumpage inventory of grade j timber in area i in the beginning of the first period, cu.m.

S_{jT} = desired stumpage inventory of grade j timber at the end of the last period, cu.m.

ds_{jt} = volume growth percentage of grade j standing timber in period t

Z = own forest's harvesting possibilities where

Z_0, Z_1 = minimum and maximum total cutting budgets from the firm's own forest, cu.m.

rz_{ijt} = relative quantity of grade j timber to be harvested in area i during period t

V = delivery purchase possibilities where

V_{ijot}, V_{ij1t} = minimum and maximum amounts of grade j timber available for delivery purchase in area i, cu.m./period t

X_1 = felling possibilities of stumpage purchased timber where

H_{1t} = capacity of manpower for felling, days/period t

ax_{jt} = manpower input in felling grade j timber period t, cu.m./day

X_2 = hauling possibilities where

H_{2t} = capacity of machinery for hauling, days/period t

bx_{jt} = machine input in hauling grade j timber in period t, cu.m./day

rx_{ijt} = relative quantity of grade j timber to be harvested in area i during period t

R = road side inventory situation where

R_{ijo} = road side inventory of grade j timber in area i in the beginning of the first period, cu.m.

R_{jt} = desired road side inventory of grade j timber at the end of period t, cu.m.

Y = transportation possibilities where

H_{3t} = capacity of trucks for transportation, days/period t

cy_{ijt} = truck input in transporting grade j timber from area i in period t, cu.m./day

cy_{ijot} = truck input in transporting grade j timber from area i to other firms in period t, cu.m./day

Y_0 = timber sales possibilities to other firms and purchase possibilities from other firms where

Y_{60}, Y_{06} = maximum desired excess of timber sales to purchases, and timber purchases to sales when trading timber with other firms, mk

mp_{jt} = market price of timber grade j in period t, mk/cu.m.

M = mill inventory situation where

M_{jko} = mill k inventory of grade j timber in the beginning of the first period, cu.m.

B_{jkt} = desired mill k buffer stock of grade j timber in the end of period t, cu.m.

$\hat{X}$ = feedback from the logging phase to the purchase phase

$\hat{Y}$ = feedback from the transportation phase to the logging phase.

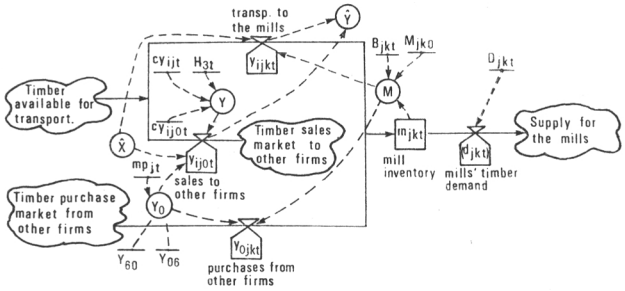


Fig. A5a.

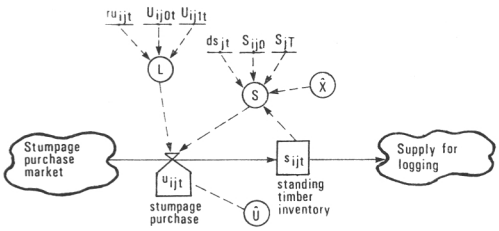


Fig. A5b.

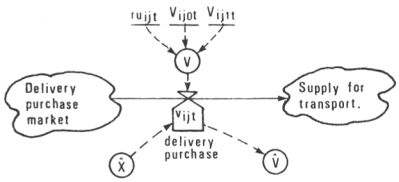


Fig. A5c.

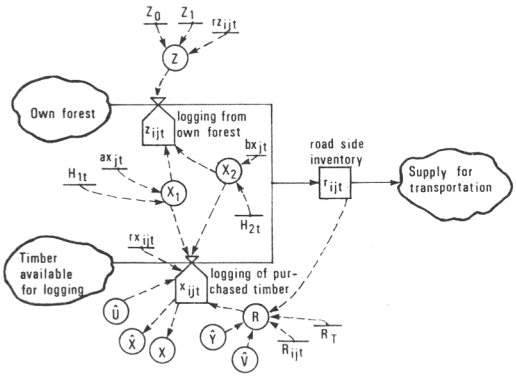


Fig. A5d.

Figure A 5 a—d. System dynamics diagrams for the decentralized wood procurement of transportation (Fig. a), stumpage purchase (Fig. b), delivery purchase (Fig. c) and logging.

Kuva A 5 a—d. Hajautetun puunhankinnan suunnittelun systeemidynaamiset kaaviot kaukokuljetusta (kuva a), pystyostoja (kuva b), hankintaostoja (kuva c) ja puunkorjuuta varten (kuva d).

22. System Dynamics Approach under Decentralization

In Figure A 5 a—d we wish to develop a decentralized counterpart to the centralized example of system dynamics in wood procurement of Appendix 21. It shows that the approach is not a most suitable model for participative decision making. As the planning above proceeded chronologically from purchase to transportation we apply here a »both end start» procedure similar to that used in practice by the Finnish forest products firms today (see Figure A 1). The starting points are the transportation needs and the purchase possibilities, in that order. It includes all the flow and stock variables, and auxiliary elements of Figure A 4 in Appendix 21. The transportation plan of Figure A 5 a is attacked first. It resembles the transportation part of Figure A 4. It produces an interfunctional feedback ($\hat{Y}$) from transportation to logging. The feedback shows the demand of transportation function for the timber controlled by the logging manager. The purchase function consists of two parts, Figures A 5 b and c. The interfunctional feedbacks are $\hat{U}$ and $\hat{V}$ that indicate the stumpage supply for logging and delivery purchase supply for the road side inventory. Finally, the wood procurement process is combined in the logging function of Figure A 5 d. It includes demand $\hat{Y}$, supplies $\hat{U}$ and $\hat{V}$, and gives a suggestive logging program $\hat{X}$. The suggestion is forwarded to the transportation and purchase functions. Iterations are used to find feasible wood procurement schedules for the functions. For the best of them the logging program is X.

23. Discrete Simulation Approach under Decentralization

Figures A 6 a—d present a rough way to formulate decentralized wood procurement planning through discrete simulation. The planning starts from transportation and purchase and proceeds to logging. Figure A 6 a gives an idea of the computations for the transportation function. The symbols relate to those of the system dynamics approach of appendices 21—22, linear program of Appendix 31 and goal program of Appendix 32. They are explained in detail in Appendix 31. The N_3 alternative transportation schedules are restrained by the transportation possibilities and the guiding constraints from the logging function ($\hat{X}$). The quarterly ending mill inventory is a function of the beginning inventory, transportation and the mills' timber demand. It also depends on timber purchases from other firms. The purchases are bound with the timber sales to other firms through timber trade constraints. For a transportation schedule to be feasible the ending inventory must reach a certain minimum buffer stock level and should not exceed the storing capacity. The timber demand of the transportation to the logging function and the related costs are computed for each feasible transportation schedule. The calculations end when all N_3 transportation schedule alternatives are checked.

Figure A 3 b gives an approximate description of the computations for stumpage purchasing. The N_1 alternative schedules are restrained by the stumpage purchase possibilities. The timber supply for logging is the sum of the beginning stumpage inventory and the purchase. The schedules are feasible when the minimum stumpage inventory requirement in the end of the year and the guiding constraints ($\hat{X}$) by the logging manager are satisfied. The related cost is computed. The computations end when all N_1 schedule alternatives are tested.

Figure A 3 c shows an example of the delivery purchase analysis. The purchasing is constrained by the purchase possibilities and the guiding constraints ($\hat{X}$). The purchase manager is the expert of the delivery purchases and thus responsible for them. The guides come from the logging manager who wishes to acquire a great enough of a timber supply at the road side for transportation. The feasible delivery purchases are recorded for all N_1, schedules and the related costs computed.

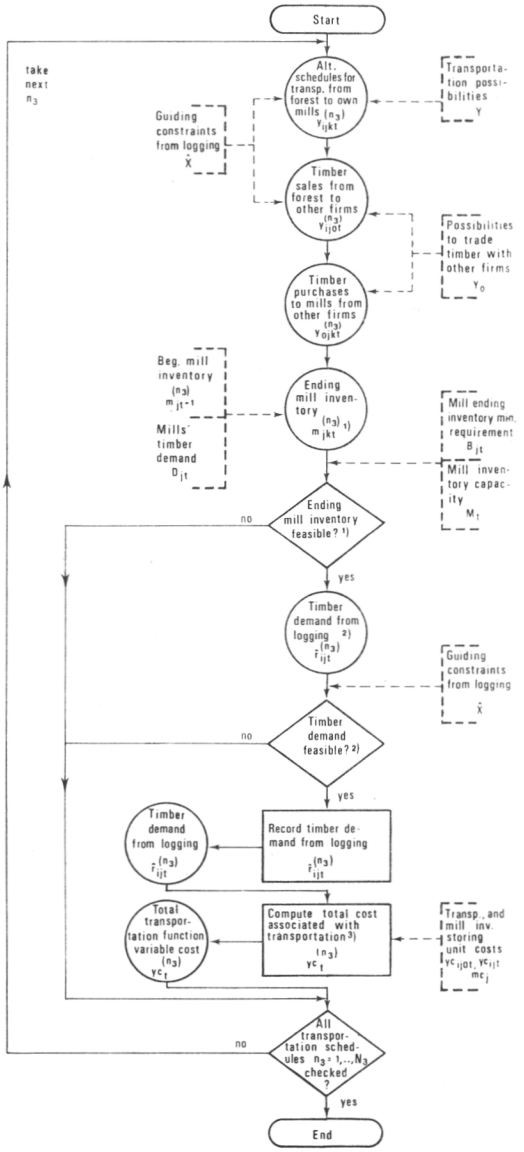


Figure A 6 a. Example of a discrete simulation computation scheme for the transportation function.
Kuva A 6 a. Esimerkki kaukokuljetuksen suunnittelulaskelmien kulusta diskreettia simulointia käyttäen.

1) $$m_{jt-1}^{(n_3)} + \sum_{i=1}^{I} \sum_{k=1}^{K} y_{ijkt}^{(n_3)} + \sum_{k=1}^{K} y_{ojkt} - D_{jt} = m_{jt}^{(n_3)} \; ; \; m_{jt}^{(n_3)} \geq B_{jt} \; ; \; \sum_{j=1}^{J} m_{jt}^{(n_3)} \leq M_t$$
for all j, t

2) $$\hat{r}_{ijt}^{(n_3)} = \sum_{k=1}^{K} y_{ijkt}^{(n_3)} + y_{ijot}^{(n_3)} \; ; \; \{\hat{r}_{ijt}^{(n_3)}\} \in \hat{X}$$

3) $$yc_t^{(n_3)} = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{k=1}^{K} yc_{ijt} \, y_{ijkt}^{(n_3)} + \sum_{i=1}^{I} \sum_{k=1}^{K} mp_j \, y_{ojkt}^{(n_3)}$$
$$+ \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} (yc_{ijot} - mp_{jt}) \, y_{ijot}^{(n_3)} + \sum_{j=1}^{J} mc_j \, m_{jt}^{(n_3)}$$

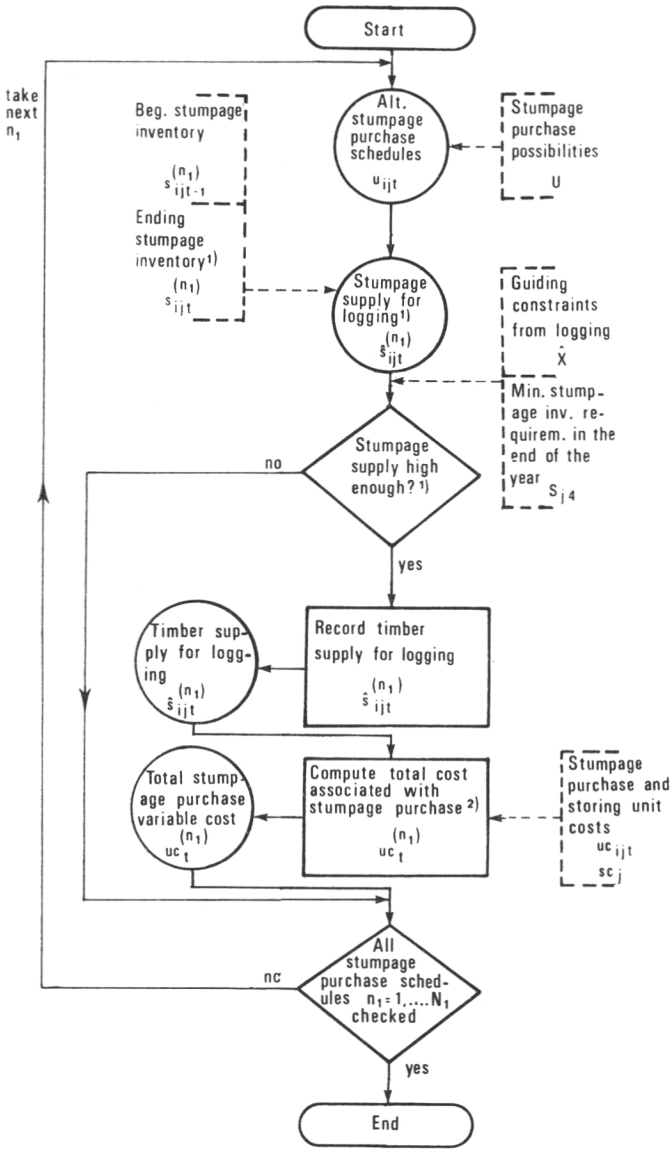


Figure A 6 b. Example of a discrete simulation computation scheme for the stumpage purchases.
Kuva A 6 b. Esimerkki pystyostojen suunnittelulaskelmien kulusta diskreettia simulointia käyttäen.

1) $\hat{s}^{(n_1)}_{ijt} = s^{(n_1)}_{ijt-1} + u^{(n_1)}_{ijt} - s^{(n_1)}_{ijt}$; $\left\{ s^{(n_1)}_{ijt} \right\} \in \hat{X}$; $\sum_{i=1}^{I} s_{ij4} \geq S_{j4}$

2) $uc^{(n_1)}_t = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \left(uc_{ijt}\, u^{(n_1)}_{ijt} + sc_j\, s^{(n_1)}_{ijt} \right)$

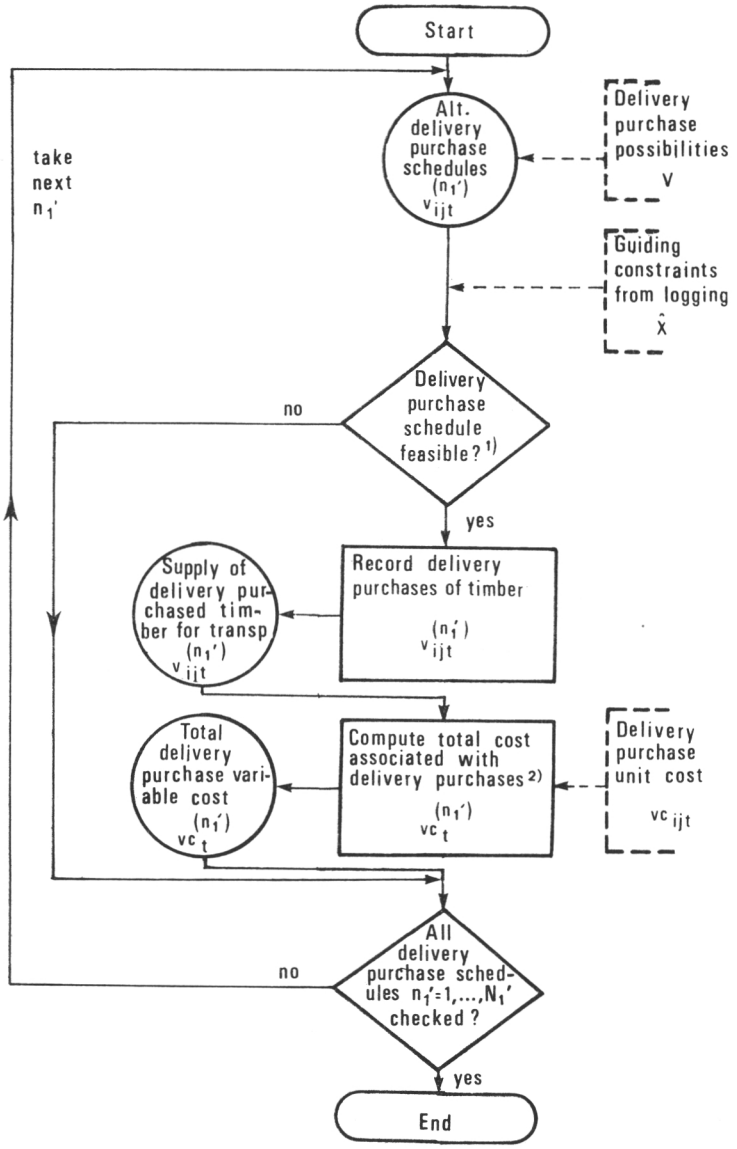


Figure A 6 c. Example of a discrete simulation computation scheme for the delivery purchases. *Kuva A 6 c. Esimerkki hankintaostojen suunnittelulaskelmien kulusta diskreettia simulointia käyttäen.*

1) $\left\{ {}^{(n_1')}_{v_{ijt}} \right\} \in \hat{X}$

2) ${}^{(n_1')}_{vc_t} = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} vc_{ijt}\, {}^{(n_1')}_{v_{ijt}}$

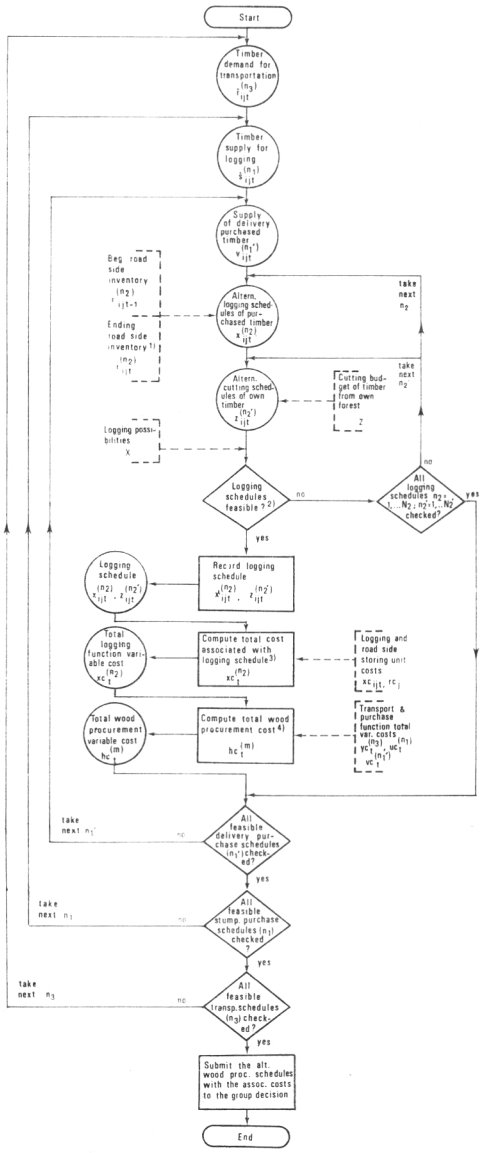


Figure A 6 d. Example of a discrete simulation computation scheme for the logging function and for deciding on the total wood procurement plan.

Kuva A 6 d. Esimerkki korjuun ja muun puunhankinnan yhteensovittamiseksi tehtävien suunnittelulaskelmien kulusta diskreettiä simulointia käyttäen.

---

1) $\sum_{i=1}^{I} r_{ijt} \geq R_{jt}$

2) $x_{ijt}^{(n_2)} + z_{ijt}^{(n_2')} = \hat{r}_{ijt}^{(n_3)} - \hat{s}_{ijt}^{(n_1)} - v_{ijt}^{(n_1')} + r_{ijt}^{(n_2)} - r_{ijt-1}^{(n_2)}$;

$x_{iji}^{(n_2)} \leq \hat{s}_{ijt}^{(n_1)}$ and $\left\{ x_{ijt}^{(n_2)} + z_{ijt}^{(n_2')} \right\} \in X$ and $\left\{ z_{ijt}^{(n_2')} \right\} \in Z$

3) $xc_t^{(n_2)} = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \left((xc_{ijt} (x_{ijt}^{(n_2)} + z_{ijt}^{(n_2')}) + rc_j r_{ijt}^{(n_1')} \right)$

4) $hc_t^{(m)} = yc_t^{(n_3)} + uc_t^{(n_1)} + vc_t^{(n_1')} + xc_t^{(n_2)}$

Figure A 3 d gives a rough idea of the logging function discrete simulation. It also includes deriving the feasible wood procurement schedules and the associated costs for the whole timber division. The first task is to compute alternative (preliminary) firm-owned and purchased timber logging schedules. They are found as functions of timber demand for transportation, supply of delivery purchased timber, timber supply for logging in stumpage inventory, the beginning and the required ending road side inventory. The feasibility of the schedules is tested by comparing them to the logging possibilities and the firm's own timber cutting budget. The total logging function and wood procurement costs are computed for each feasible schedule. The calculations end when the alternative logging, transportation and purchase schedules have been checked and the combination with lowest cost found. The alternative wood procurement plans ate then submitted the timber division executives' group decision.

Appendix 3. WOOD PROCUREMENT ANALYTIC MODELS: A CASE

31. Linear Program under Centralization

Theoretically, under perfect knowledge, linear programming that assumes centralization always produces an equal or better wood procurement plan than goal programming of decentralization (cf. K e i p i 1977, p. 47). The purpose of this appendix is to formulate and solve a linear program and a goal program for a case firm. Finally, we compare the results of the two models. The linear program is a special case of program (1.1) in section 12. The three stages of wood procurement are presented in chronologically backward order. In the objective function, (A) represents transportation, (B) logging and (C) purchases. These symbols are also used in the constraints. Here we consider a case firm that can procure timber from three regions (i). There are five timber grades (j) of which $j = 1$ represents spruce sawlogs, $j = 2$ pine sawlogs, $j = 3$ spruce pulpwood, $j = 4$ pine pulpwood and $j = 5$ birch pulpwood. Spruce pulpwood is considered the key timber grade for the company. It is called the »indicator» grade. $\hat{j}$ The case firm owns three mills (k) in the same location: a sawmill ($k = 1$) for the logs, a sulphite pulp mill ($k = 2$) for the spruce pulpwood and a sulphate pulp mill ($k = 3$) for the pine pulpwood. Occasionally it may be economically feasible for the sulphite mill to use spruce sawlogs. The birch roundwood must be sold to other firms. The planning time horizon is one year that is divided into four quarters — periods (t).

(a.1) Minimize

(A) transportation to the mills

$$\sum_{i=1}^{I} \sum_{t=1}^{T} (yc_{i1t} \underset{j}{\uparrow} (y_{i11t} \underset{jk}{\uparrow\uparrow} + y_{i12t}) + yc_{i2t} y_{i21t} + yc_{i3t} y_{i32t} + yc_{i4t} y_{i43t})$$

timber purchases from other firms

$$+ \sum_{t=1}^{T} (mp_{1t} \underset{j\,(i=0)}{\uparrow} (y_{011t} \underset{jk}{\uparrow\uparrow\uparrow} + y_{012t}) + mp_{2t} y_{021t} + mp_{3t} y_{032t} + mp_{41} y_{043t})$$

timber sales to other firms

$$- \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} (mp_{jt} - yc_{ij0t} \underset{(k=0)}{\uparrow}) \; y_{ij0t}$$

mill inventory

$$+ \sum_{j=1}^{J-1} \sum_{t=1}^{T} mc_j \, m_{jt}$$

over- and underemployment of trucks for transportation

$$+ \sum_{t=1}^{T} (hc_{3t} \underset{n}{\uparrow} h_{3t}^{+} + kc_{3t} \underset{n}{\uparrow} h_{3t}^{-})$$

(B) logging

$$+ \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} xc_{ijt} (x_{ijt} + z_{ijt})$$

road side inventory

$$+ \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} rc_j r_{ijt}$$

over- and underemployment of logging machinery

$$+ \sum_{t=1}^{T} (hc_{2t} h_{2t}^{+} + kc_{2t} h_{2t}^{-})$$

(C) delivery purchases

$$+ \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} vc_{ijt} v_{ijt}$$

stumpage purchases

$$+ \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} uc_{ijt} u_{ijt}$$

stumpage inventory

$$+ \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} sc_j s_{ijt}$$

subject to:

(A.1) Transportation, and mill inventories for the four ($T = 4$) periods

$j = 1$, $k = 1$:

$$\sum_{i=1}^{I} y_{i111} + y_{0111} - m_{11} = -M_{10} + D_{11}$$

$$m_{1t-1} + \sum_{i=1}^{I} y_{i11t} + y_{011t} - m_{1t} = D_{1t} \quad \text{for } t = 2, 3, 4$$

$j = 2$, $k = 1$:

$$\sum_{i=1}^{I} y_{i211} + y_{0211} - m_{21} = -M_{20} + D_{21}$$

$$m_{2t-1} + \sum_{i=1}^{I} y_{i21t} + y_{021t} - m_{2t} = D_{2t} \quad \text{for } t = 2, 3, 4$$

$j = 3, 1$, $k = 2$:

$$\sum_{i=1}^{I} (y_{i321} + y_{i121}) + (y_{0321} + y_{0121}) - m_{31} = -M_{30} + D_{31}$$

$$m_{3t-1} + \sum_{i=1}^{I} (y_{i32t} + y_{i12t}) + (y_{032t} + y_{012t}) - m_{3t} = D_{3t} \quad \text{for } t = 2, 3, 4$$

$j = 4$, $k = 3$:

$$\sum_{i=1}^{I} y_{i431} + y_{0431} - m_{41} = -M_{40} + D_{41}$$

$$m_{4t-1} + \sum_{i=1}^{I} y_{i43t} + y_{043t} - m_{4t} = D_{4t} \quad \text{for } t = 2, 3, 4$$

(A.2) Mill buffer stocks for the four ($T = 4$) periods

$$m_{jt} \geq B_{jt} \quad \text{for } j = 1, \ldots, 4; \quad t = 1, \ldots, 4$$

(A.3) Timber sales to and purchases from other firms

value of sales

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T}(mp_{1t}y_{i10t}+mp_{2t}y_{i20t}+mp_{3t}y_{i30t}+mp_{4t}y_{i40t}+mp_{5t}y_{i50t}) = y_{60}$$

value of purchases

$$\sum_{t=1}^{T}(mp_{1t}(y_{011t}+y_{012t})+mp_{2t}y_{021t}+mp_{3t}y_{032t}+mp_{4t}y_{043t}) = y_{06}$$

balancing the values of sales and purchases

$$y_{60} \leq \underline{cy} \cdot y_{06} \qquad y_{06} \leq \underline{py} \cdot y_{60}$$

maximum purchases

$$\sum_{t=1}^{T} y_{011t}+y_{012t}+y_{021t}+y_{032t}+y_{043} \leq Y_0$$

(A.4) Capacity of trucks for transportation during the four ($T = 4$) periods

$$\sum_{i=1}^{I}(cy_{it}(y_{i11t}+y_{i12t}) + cy_{i10}\,y_{i10t} + cy_{i2}y_{i21t}+cy_{i20}y_{j20t}+cy_{i3}y_{i32t}$$

$$+cy_{i30}y_{i30t}+cy_{i4}y_{i43t}+cy_{i40}y_{i40t}+cy_{i50}y_{i50t})-h_{3t}^{+}+h_{3t}^{-} = H_{3t} \qquad \text{for } t = 1,\ldots,4$$

(A.5) Overtime capacity of trucks for transportation during the four ($T = 4$) periods

$$h_{3t}^{+} \leq J_{3t} \quad \text{for } t = 1,\ldots,4$$

(B.1) Logging and road side inventories for the four ($T = 4$) periods

$j = 1$, $k = 1, 2$

$$\left.\begin{aligned} x_{i11} + z_{i11} + v_{i11} - y_{i111} - y_{i121} - y_{i101} - r_{i11} &= -R_{i10} \\ r_{i1t-1} + x_{i1t} + z_{i1t} + v_{i1t} - y_{i11t} - y_{i12t} - y_{i10t} - r_{i1t} &= 0 \\ \text{for } t &= 2, 3, 4 \end{aligned}\right\} \quad \text{for } i = 1, 2, 3$$

$j = 2 \,\&\, k = 1$, $j = 3 \,\&\, k = 2$, $j = 4 \,\&\, k = 3$

$$\left.\begin{aligned} x_{ij1} + z_{ij1} + v_{ij1} - y_{ijk1} - y_{ij01} - r_{ij1} &= -R_{ij0} \\ r_{ijt-1} + x_{ijt} + z_{ijt} + v_{ijt} - y_{ijkt} - y_{ij0t} - r_{ijt} &= 0 \\ \text{for } t &= 2, 3, 4 \end{aligned}\right\} \quad \text{for } i = 1, 2, 3$$

$j = 5$, $k = 0$

$$\left.\begin{aligned} x_{i51} + z_{i51} + v_{i51} - y_{i501} - r_{i51} &= -R_{i50} \\ r_{i5t-1} + x_{i5t} + z_{i5t} + v_{i5t} - y_{i50t} - r_{i5t} &= 0 \\ \text{for } t &= 2, 3, 4 \end{aligned}\right\} \quad \text{for } i = 1, 2, 3$$

(B.2) Road side inventory requirements for the four ($T = 4$) periods

$$\sum_{i=1}^{I} r_{i3t} \geq R_{3t} \quad \text{for } t = 1,\ldots,4$$

(B.3) Capacity of logging manpower and machinery for the four ($T = 4$) periods

logging manpower

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J} a x_{jt}(x_{ijt}+z_{ijt}) - b_{1t}^{+} + b_{1t}^{-} = H_{1t} \qquad \text{for } t = 1,\ldots,4$$

(n) (n) (n)

logging machinery

$$\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{5} b x_{jt}(x_{ijt}+z_{ijt}) - b_{2t}^{+} + b_{2t}^{-} = H_{2t}$$

(n) (n) (n)

(B.4) Overtime capacities of logging manpower and machinery for the four ($T = 4$) periods

logging manpower

$$b_{1t} \leq J_{1t} \qquad \text{for } t = 1,\ldots,4$$

(n) (n)

logging machinery

$$b_{2t}^{+} \leq J_{2t} \qquad \text{for } t = 1,\ldots,4$$

(n) (n)

(B.5) Timber grade structures in logging for the four (T=4) periods

logging of stumpage purchased timber

$$x_{ijt} - r x_{ij}\, x_{i\hat{j}t} = 0 \qquad \text{for } i = 1, 2, 3;\ j = 1, 2, 4, 5;\ \hat{j} = 3;\ t = 1,\ldots,4$$

logging of timber from own forest

$$z_{ijt} - r z_j\, z_{ijt} = 0 \qquad \text{for } i = 1, 2, 3;\ j = 1, 2, 4, 5;\ \hat{j} = 3;\ t = 1,\ldots,4$$

(B.6) Possibilities to cut from the firm's own forest

upper bound for cutting

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} z_{ijt} \leq Z_1$$

lower bound for cutting

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} z_{ijt} \geq Z_0$$

(C.1) Stumpage purchases and inventories for the four ($T = 4$) periods

$$\left.\begin{aligned} u_{ij1} - x_{ij1} - s_{ij1} &= -S_{ijo} \\ (1 + ds_{jt})\ (s_{jt-1} + u_{jt}) - x_{ijt} - s_{ijt} &= 0 \qquad \text{for } t = 2, 3 \\ s_{ij3} + u_{ij4} - x_{ij4} - s_{ij4} &= 0 \end{aligned}\right\} \begin{array}{l} \text{for } i = 1, 2, 3 \\ \text{for } j = 1,\ldots,5 \end{array}$$

(t) (t) (t) (t)

(C.2) Stumpage inventory requirement

$$\sum_{i=1}^{I} s_{i34} \geq S_{34}$$

(C.3) Timber grade structures in purchase for the four (T=4) periods

delivery purchases

$$v_{ijt} - ru_{ij}\, v_{i\hat{j}t} = 0 \qquad \text{for } i = 1, 2, 3;\ j = 1, 2, 4, 5;\ \hat{j} = 3;\ t = 1, \ldots, 4$$

stumpage purchases

$$u_{ijt} - ru_{ij}\, u_{i\hat{j}t} = 0 \qquad \text{for } i = 1, 2, 3;\ j = 1, 2, 4, 5;\ \hat{j} = 3;\ t = 1, \ldots, 4$$

(C.4) Timber supply for stumpage purchases during the four ($T = 4$) periods

$$u_{i31} \leq U_{i3t} \qquad \text{for } i = 1, 2, 3;\ t = 1, \ldots, 4$$

(C.5) Timber supply for delivery purchases during the four ($T = 4$) periods

$$v_{i31} \leq V_{i3t} \qquad \text{for } i = 1, 2, 3;\ t = 1, \ldots, 4$$

where the variables are:

y_{ijkt} = transportation of grade j timber from the road side to mill k from area i in period t, cu.m.
y_{ojkt} = purchase of grade j timber to mill k from other firms in period t, cu.m.
y_{ijot} = sales and transportation of grade j timber from the road side to other firms from area i in period t, cu.m.
y_{60} = value of timber sales to other firms during the whole time horizon, mk
y_{06} = value of timber purchases from other firms during the whole time horizon, mk
m_{jt} = timber grade j mill inventory in the end of period t; m_{jo} is a constant M_{jo}, cu.m.
x_{ijt} = logging of grade j stumpage purchased timber to the road side in area i, period t, cu.m.
z_{ijt} = logging of grade j timber from the firm's own forest to the road side in area i, period t, cu.m.
r_{ijt} = timber grade j road side inventory in area i in the end of period t, cu.m.
v_{ijt} = delivery purchase of grade j timber in area i, period t, cu.m.
u_{ijt} = stumpage purchases of grade j timber in area i, period t, cu.m.
s_{ijt} = timber grade j stumpage inventory in area i in the end of period t, cu.m.
b_{nt}^{+} = overemployment of resource n in period t, man or machine days
b_{nt}^{-} = underemployment of resource n in period t, man or machine days

where the coefficients are:

yc_{ijt} = transportation cost of grade j timber from area i to the mills in period t, mk/cu.m.
yc_{ijot} = transportation cost of grade j timber from area i to other firms in period t, mk/cu.m.
mc_j = storing cost of grade j timber in mill inventory, mk/cu.m.
mp_{jt} = mill market price of timber grade j in period t, mk/cu.m.
xc_{ijt} = logging cost of grade j timber in area i, period t, mk/cu.m.
bc_{nt} = cost of keeping resource n overemployed in period t, mk/man or machine day

kc_{nt} = cost of keeping resource n underemployed in period t, mk/man or machine day
rc_j = storing cost of grade j timber in road side inventory, mk/cu.m.
cy_{ij} = truck input in transporting grade j timber from area i to the mills, days/cu.m.
cy_{ij0} = truck input in transporting grade j timber from area i to other firms, days/cu.m.
ax_{jt} = manpower input in the logging of grade j timber in period t, days/cu.m.
bx_{jt} = machine input in the logging of grade j timber in period t, days/cu.m.
vc_{ijt} = delivery purchase price of grade j timber in area i, period t, mk/cu.m.
uc_{ijt} = stumpage purchase price of grade j timber in area i, period t, mk/cu.m.
sc_j = storing cost of grade j timber in stumpage inventory, mk/cu.m.
rx_{ij} = ratio of grade j timber to »indicator» grade $\hat{j}$ stumpage purchased timber available for logging in area i $(\doteq S_{ij0}/S_{i\hat{j}0};\ j \neq \hat{j})$
ru_{ij} = ratio of grade j timber to »indicator» grade j timber available for stumpage and delivery purchases in area i
$$(\doteq \sum_{t=1}^{4} U_{ijt} / \sum_{t=1}^{4} U_{i\hat{j}t};\ j \neq \hat{j})$$
rz_{ij} = ratio of grade j own timber to »indicator» grade j own timber available for logging in area i
$$(= \sum_{t=1}^{4} Z_{ijt} / \sum_{t=1}^{4} Z_{i\hat{j}t};\ j \neq \hat{j})$$
sy = maximum allowed ratio of the value of timber sales to other firms to value of purchases from other firms
py = maximum allowed ratio of the value of timber purchases from other firms to value of sales to other firms
ds_{jt} = the volume growth of grade j timber in period t, per cent/100

where the right-hand-side constants are:

M_{j0} = mill inventory of grade j timber in the beginning of the first period, cu.m.
D_{jt} = mills' demand for grade j timber in period t, cu.m.
B_{jt} = desired mills' buffer stock of grade j timber in the end of period t, cu.m.
Y_0 = maximum possible timber purchases from other firms during the time horizon, cu.m.
R_{ij0} = road side inventory of grade j timber in area i in the beginning of the first period, cu.m.
R_{jt} = desired road side inventory of grade j timber in the end of quarter t, cu.m.
H_{nt} = capacity of resource n in period t, man or machine days
J_{nt} = overtime capacity of resources n in period t, man or machine days
Z_1, Z_0 = maximum and minimum allowable cut from the firm's own forest, cu.m.
(Z_{ijt} = amount of grade j timber available for cutting in the firm's own forest in area i, period t, cu.m.
($Z_{i\hat{j}t}$ = amount of »indicator» grade $\hat{j}$ timber available for cutting in the firm's own forest in area i, period t, cu.m.)
S_{ij0} = stumpage inventory of grade j timber in area i in the beginning of the first period, cu.m.
($S_{i\hat{j}0}$ = stumpage inventory of »indicator» grade $\hat{j}$ timber in the beginning of the first period, cu.m.)
S_{j4} = desired stumpage inventory of grade j timber in the end of the last period, cu.m.
V_{ijt} = amount of grade j timber available for delivery purchases in area i, period t, cu.m.
U_{ijt} = amount of grade j timber available for stumpage purchases in area i, period t, cu.m.
($U_{i\hat{j}t}$ = amount of »indicator» grade $\hat{j}$ timber available for stumpage purchases in area i, period t, cu.m.)

The objective of program (a.1) is to minimize the total wood procurement cost that consists of the costs of transportation (A), logging (B) and purchasing (C). The transportation stage includes transportation of timber of different grades (j) harvested in some geographical regions i for the company's own mills k. It also comprises purchases from and sales to other firms and timber storing at the mill inventory. The logging stage includes the cutting of timber from stumpage purchases or from the firm's own forest, and its storing at the road side. The purchase phase includes the delivery and stumpage purchases and storage of standing timber. These activities occur in some quarter t. The inclusion of timber grade index j and mill index k in the same variable allows the complementarity of spruce sawlogs and pulpwood in the sulphite pulp mill .

Transportation is regulated by mill inventory supply-demand equations (A.1, A.2). The supply consists of the quarter's beginning inventory which is the same as the ending inventory of the previous quarter t-1, and the transportation of new timber. The demand includes the mills' timber needs, that are given constants, and the ending inventory requirements. The values of timber sales to and purchases from other firms should be close to equilibrium. This is done in constraints (A.3). It is assumed that transportation takes place on trucks. Their utilization is regulated by constraints (A.4) and (A.5) that include their productivities and capacities.

Road side inventory supply-demand equations (B.1) restrain logging. On the supply side are the beginning timber inventory, logging of stumpage purchased or the firm's own timber and wood from delivery purchases. The demand consists of the needs for transportation and the required ending inventory. In order to guarantee smooth periodic wood procurement some minimum road side timber stocks are required in constraints (B.2). Logging is restricted by the manpower productivity and capacity in felling and the machinery productivity and capacity in hauling through constraints (B.3) and (B.4). The technology requires that from each tract all timber grades must be cut at the same time. In each region and quarter the grades are harvested in the proportion they are available for harvest. This is shown in constraints (B.5). Requirements (B.6) keep the harvesting from the firm's own forest within the allowable cut limits.

Stumpage supply-demand equilibrium equations (C.1) regulate the stumpage purchasing and stumpage inventories. The quarterly supply is represented by the beginning inventory and stumpage purchase, the demand by logging and ending inventory. The ending stumpage inventory required is shown by (C.2). Constraints (C.3) make the purchases of different grades of timber to follow the actual grade distribution in the forest. Buying only one or two timber grades on stump is impossible and on delivery unlikely. Timber supplies for stumpage and delivery purchases are given in constraints (C.4) and (C.5). They are needed only for the »indicator» timber grade because the grade structures are fixed in constraints (C.2).

32. Goal Program under Decentralization

As the first step in finding a decentralized wood procurement plan through goal programming the managers solve their functional problems. On the basis of the solutions they report their goals to the headquarters. They inform the headquarters about the opportunity costs of not attaining the targets and the functional wood procurement possibilities. Based on this information a goal program is created in the headquarters. Its objective is to minimize deviations of the function manager's and the timber division head's targets.

The example goal program (a.2) can be understood as an extension to linear program (a.1) of Appendix 31. The seven functional goals appear as the right-hand-side constants of restraints (A.1), (A.2), (A.4), (B.2), (B.3), (B.6) and (C.2). The division head's budget goal is the right-hand-side of restraint (D.1). These constraints define also the goal deviation variables appearing in the goal program's objective function.

The transportation manager's goals concern

— avoiding timber shortage at mills (constraints A.1),
— keeping minimum mill buffer stocks (A.2),
— employing trucks at normal capacity (A.4) and
— minimizing mill inventory costs.

The logging manager's goals are

— keeping minimum timber inventories at the road side (B.2),
— employing logging machinery at normal capacity (B.3),
— not exceeding the firm's own forest's cutting plan (B.6) and
— minimizing road side inventory costs.

The purchase manager's goal is

— guaranteeing minimum stumpage inventories in the end of the year (C.2) and
— minimizing stumpage inventory costs

The timber division head's goal is

— keeping the wood procurement variable cost budget (D.1).

The goal program shows how to relate some of the timber division executives' targets of Appendix 13 to the decentralized wood procurement planning framework. There could be still other goals associated to the existing constraints. There could also be a need to include new goals that would require the formulation of completely new constraints. This program does not intend to be »the» goal program to be applied under a decentralized organization in the Finnish forest products firms. It is just an example.

(a.2) Minimize

(A) timber shortage at mills

$$\sum_{j=1}^{J-1} \sum_{t=1}^{T} ac_{jt}\, m_{jt}^{-}$$

timber shortage in mill buffer stock

$$+ \sum_{j=1}^{J-1} \sum_{t=1}^{T} ac_{jt}\, m_{jt}^{\circ}$$

truck over- and underemployment

$$+ \sum_{t=1}^{T} (hc_{3t}\, h_{3t}^{+} + kc_{3t}\, h_{3t}^{-})$$

(n, n)

mill inventory cost

$$+ \sum_{j=1}^{J-1} \sum_{t=1}^{T} mc_j\, m_{jt}$$

(B) timber shortage at the road side

$$+ \sum_{t=1}^{T} hc_{3t}\, r_{3t}^{-}$$

(j, j)

logging machinery over- and underemployment

$$+ \sum_{t=1}^{T} (hc_{2t}\, h_{2t}^{+} + kc_{2t}\, h_{2t}^{-})$$

(n, n)

exceeding own forest's cutting plan

$$+ nc z^{+}$$

road side inventory cost

$$+ \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} rc_j\, r_{ijt}$$

(C) timber shortage on stump

$$+ ccs_{34}^{-}$$
$$\uparrow\uparrow \quad \uparrow\uparrow$$
$$j \quad t$$

stumpage inventory cost

$$+ \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} sc_j s_{ijt}$$

(D) exceeding the budget

$$+ fcc^{+}$$

subject to:

(A.1) Transportation, and mill inventories for the four (T = 4) periods

$j = 1$, $k = 1$:

$$\sum_{i=1}^{I} y_{i111} + y_{o111} - m_{11} + m_{11}^{-} = -M_{10} + D_{11}$$
$$\uparrow\uparrow\uparrow \quad (i=0)\ \uparrow\uparrow\uparrow \quad \uparrow\uparrow \quad \uparrow\uparrow \quad \uparrow\uparrow \quad \uparrow\uparrow$$
$$jkt \quad jkt \quad jt \quad jt \quad jt \quad jt$$

$$m_{1t-1} + \sum_{i=1}^{I} y_{i11t} + y_{o11t} - m_{1t} + m_{1t}^{-} = D_{1t} \qquad \text{for } t = 2, 3, 4$$

$j = 2$, $k = 1$:

$$\sum_{i=1}^{I} y_{i211} + Y_{o211} - m_{21} + m_{21}^{-} = -M_{20} + D_{21}$$

$$m_{2t-1} + \sum_{i=1}^{I} y_{i21t} + y_{o21t} - m_{2t} + m_{2t}^{-} = D_{2t} \qquad \text{for } t = 2, 3, 4$$

$j = 3, 1$, $k = 2$:

$$\sum_{i=1}^{I} (y_{i321} + y_{i121}) + (y_{o321} + y_{o121}) - m_{31} = -M_{30} + D_{31}$$

$$m_{3t-1} + \sum_{i=1}^{I} (y_{i32t} + y_{i12t}) + (y_{o32t} + y_{o12t}) - m_{3t} + m_{3t}^{-} = D_{3t} \quad \text{for } t = 2, 3, 4$$

$j = 4$, $k = 3$:

$$\sum_{i=1}^{I} y_{i431} + y_{o431} - m_{41} + m_{41}^{-} = -M_{40} + D_{41}$$

$$m_{4t-1} + \sum_{i=1}^{I} y_{i43t} + y_{o43t} - m_{4t} + m_{4t}^{-} = D_{4t} \qquad \text{for } t = 2, 3, 4$$

(A.2) Mill buffer stocks for the four ($T = 4$) periods

$$m_{jt} + m_{jt}^{\circ} - m_{jt}^{+} = B_{jt} \qquad \text{for } j = 1, \ldots, 4; \quad t = 1, \ldots, 4$$

(A.3) Timber sales to and purchases from other firms
(see (A.3) of program (a.1) in Appendix 31)

(A.4) Capacity of trucks for transportation
(see (A.4) of program (a.1) in Appendix 31)

(A.5) Overtime capacity of trucks for transportation
(see (A.5) of program (a.1) in Appendix 31)

(B.1) Logging and road side inventories
(see (B.1) of program (a.1) in Appendix 31)

(B.2) Road side inventory requirements for the four ($T = 4$) periods

$$\sum_{i=1}^{I} r_{i3t} - r_{3t}^{+} + r_{3t}^{-} = R_{3t} \quad ; \quad \text{for } t = 1, \ldots, 4$$

(B.3) Capacity of logging manpower and machinery
(see (B.3) of program (a.1) in Appendix 31)

(B.4) Logging manpower and machinery overtime capacities
(see (B.4) of program (a.1) in Appendix 31)

(B.5) Timber grade structures in logging
(see (B.5) of program (a.1) in Appendix 31)

(B.6) Possibilities to cut from firm's own forest

upper bound for cutting

$$\sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} z_{ijt} + z^{+} = Z_1$$

lower, desired, bound for cutting

$$\sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} z_{ijt} \geq Z_o$$

(C.1) Stumpage purchases and inventories

(see (C.1) in program (a.1) in Appendix 31)

(C.2) Stumpage inventory requirement

$$\sum_{i=1}^{I} s_{i34} - s_{34}^{+} + s_{34}^{-} = S_{34}$$

(C.3) Timber grade structures in purchase

(see (C.3) of program (a.1) in Appendix 31)

(C.4) Timber supply for stumpage purchases

(see (C.4) of program (a.1) in Appendix 31)

(C.5) Timber supply for delivery purchases

(see (C.5) of program (a.1) in Appendix 31)

(D.1) Budgeted variable cost

transportation to the mills

$$\sum_{i=1}^{I} \sum_{t=1}^{T} (yc_{i1t}(y_{i11t} + y_{i12t}) + yc_{i2t}y_{i21t} + yc_{i3t}y_{i32t} + yc_{i4t}y_{i43t})$$

timber purchases from other firms

$$+ \sum_{t=1}^{T} (mp_{1t}(y_{o11t} + y_{o12t}) + mp_{2t}y_{o21t} + mp_{3t}y_{o32t} + mp_{4t}y_{o43t})$$

timber sales to other firms

$$-\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(mp_{jt}-yc_{ijot})\,y_{ijot}$$

mill inventory

$$+\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}mc_j\,m_{jt}$$

over- and underemployment of trucks for transportation

$$+\sum_{t=1}^{T}(hc_{3t}\,h_{3t}^{+}+kc_{3t}\,h_{3t}^{-})$$

logging

$$+\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}xc_{ijt}\,(x_{ijt}+z_{ijt})$$

road side inventory

$$+\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}rc_j\,r_{ijt}$$

over- and underemployment of logging machinery

$$+\sum_{t=1}^{T}(hc_{2t}\,h_{2t}^{+}+kc_{2t}\,h_{2t})$$

delivery purchases

$$+\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}vc_{ijt}\,v_{ijt}$$

stumpage purchases

$$+\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}uc_{ijt}\,u_{ijt}$$

stumpage inventory

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}sc_j\,s_{ijt}$$

$$-c^{+}+c^{-}=C$$

where the variables are:

y_{ijkt}, y_{ojkt}, y_{ijot}, y_{60}, y_{06}, m_{jt}, x_{ijt}, z_{ijt}, r_{ijt}, v_{ijt}, u_{ijt}, s_{ijt}, h_{nt}^{+}, h_{nt}^{-} as those of problem (a.1) in Appendix 31 and

m_{jt}^{+} = timber grade j inventory, excessive to mill k buffer stock, in the end of period t, cu.m.

m_{jt}^{-} = timber grade j shortage of the mills' demand in the end of period t, cu.m.

m_{jt}° = timber grade j shortage of the mills' buffer stock requirement in the end of period t, cu.m.

r_{jt}^{+} = timber grade j road side inventory, excessive to the requirement in the end of period t, cu.m.

r_{jt}^{-} = timber grade j road side inventory shortage in the end of period t, cu.m.

z^{+} = harvest in the firm's own forest, excessive to the cutting plan, cu.m.

s_{j4}^{+} = grade j timber, excessive to the stumpage inventory requirements in the end of the last period, cu.m.

s_{j4}^{-} = grade j timber stumpage inventory shortage in the end of the last period, cu.m.

c^{+} = the variable wood procurement cost, excessive to the budget, mk

c^{-} = the budgeted cost, excessive to the actual variable wood procurement cost, mk

where the coefficients are:

yc_{ijt}, yc_{ijot}, mc_j, mp_{jt}, xc_{ijt}, hc_{nt}, kc_{nt}, rc_j, cy_{ij}, cy_{ijo}, ax_{jt}, bx_{jt}, vc_{ijt}, uc_{ijt}, rx_{ij}, rz_{ij}, ru_{ij}, sc_j, sy, py, ds_{jt} as those of problem (a.1) in Appendix 31

ac_{jt} = cost of timber grade j shortage of the mills' demand in the end of period t, mk/cu.m.
ac'_{jt} = cost of timber grade j shortage of the buffer stock requirement at the mills in the end of period t, mk/cu.m.
bc_{jt} = cost of timber grade j shortage of the road side inventory requirement in the end of period t, mk/cu.m.
cc = cost of timber shortage of the stumpage inventory requirement in the end of the last period, mk/cu.m.
nc = cost of exceeding the firm's own forest's cutting plan, mk/cu.m.
fc = cost of exceeding the variable wood procurement cost budget, mk

where the right-hand-side constants are:

M_{jo}, D_{jt}, B_{jt}, Y_o, R_{ijo}, R_{jt}, H_{nt}, J_{nt}, Z_1, Z_0, z_{ijt}, $\hat{z_{ijt}}$, S_{ijo}, $\hat{S_{ijo}}$, S_{jt}, V_{ijt}, U_{ijt}, $\hat{U_{ijt}}$, as those of problem (a.1) in Appendix 31

C = variable wood procurement cost budget, mk.

The objective of program (a.2) is to minimize deviations from the set of goals given by the function managers or the timber division head. The constraints resemble those of program (a.1) in Appendix 31. The goal defining restraints are always equalities. A new feature is constraint (D.1) that is needed for the inclusion of the budget goal in the program. It resembles the objective function of program (a.1).

In the original goal programming framework the objective function goals are hierarchical. A »preemptive cost coefficient» relates to each of them. This is an apparent drawback because the side goals can never be fulfilled unless the major targets are reached and much of important information related to the planning situation may be wasted. In program (a.2) the objective function coefficients are the opportunity costs related to the deviations from the goals. The program has also been run with preemptive cost coefficients (*mg.*) as shown below in (a.2'). Somewhat following the goal priorities of Appendix 13 we get the following hierarchy for the targets:

1. Avoiding timber shortage at mills and in the mills' buffer stocks
2. Keeping at least a minimum road side inventory of timber
3. Keeping at least a minimum standing timber inventory
4. Avoiding the overemployment of trucks for transportation, logging machinery and logging manpower
5. Avoiding the underemployment of trucks for transportation, logging machinery and logging manpower
6. Not exceeding the budget
7. Not exceeding the own forest's cutting plan
8. Minimizing timber inventory costs.

(a.2') Minimize

timber shortage at mills timber shortage in mill buffer stock

$$mg_1 \left(\sum_{j=1}^{J-1} \sum_{t=1}^{T} ac_{jt}\, m_{jt}^{-} + \sum_{j=1}^{J-1} \sum_{t=1}^{T} ac'_{jt}\, m_{jt}^{\circ} \right)$$

timber shortage at the road side

$$+mg_2 \quad \sum_{t=1}^{T} bc_{\underset{\uparrow}{3}\underset{j}{t}}\, r_{\underset{\uparrow}{3}\underset{j}{t}}^{-}$$

timber shortage on stump

$$+mg_3 \quad ccs_{34}^{-}$$

truck and logging machinery overemployment

$$+mg_4 \quad \sum_{n=2}^{3} \sum_{t=1}^{T} hc_{nt}\, h_{nt}^{+}$$

... and underemployment

$$+mg_5 \quad \sum_{n=2}^{3} \sum_{t=1}^{T} kc_{nt}\, h_{nt}^{-}$$

exceeding the budget

$$+mg_6 \quad fcc^{+}$$

exceeding own forest's cutting plan

$$+mg_7 \quad ncz^{+}$$

minimizing timber inventory costs

$$+mg_8 \quad \left(\sum_{j=1}^{J-1} \sum_{t=1}^{T} mc_j\, m_{jt} + \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} rc_j\, r_{ijt} + \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} sc_j\, s_{ijt} \right)$$

33. Case Firm Data

The hypothetical case firm has been constructed based on data from two Finnish forest products firms, Tehdaspuu Co. and Enso Gutzeit Co. They operate primarily in South-Eastern Finland. Thus the case firm is supposed to exist there, too. Its wood procurement takes place in three geographical areas. It has a sawmill utilizing 85 600 m^3 of spruce and pine logs annually. Its sulphite pulp plant's annual spruce roundwood intake is 93 000 m^3 and the annual consumption of pine roundwood at the sulphate pulp plant 54 500 m^3. The sawmill is of intermediate size, the pulp mills are small in the Finnish conditions. The mills are integrated and they are located in one place. The approximate volume distribution of the different timber grades in the whole wood procurement region is:

spruce	sawlogs	($j = 1$)	20 per cent
pine	sawlogs	($j = 2$)	30 per cent
spruce	pulpwood	($j = 3$)	30 per cent
pine	pulpwood	($j = 4$)	10 per cent
birch	roundwood	($j = 5$)	10 per cent

The firm is specialized in the utilization of spruce pulpwood and sawlogs. It has to trade mainly birch roundwood (all of which is supposed to be pulpwood) with other firms. In the following we list the linear program right-hand-side constants and coefficients. The data are from the year 1974 which is divided into four quarters.

Right-hand-side constants:

D_{jt} The mills' demands for timber vary somewhat from quarter to quarter depending on the timing of the nonworking days for the year. The timber requirements for the four timber grades and quarters (in cubic meters) are:

t	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$
1	9 900	12 800	24 300	14 100
2	9 700	12 200	23 300	14 400
3	8 400	10 700	20 500	12 500
4	9 900	12 000	24 900	14 500

From the structure of constraints (A.1) we see that the sulphate pulp mill's demand is not restricted to spruce pulpwood but also spruce sawlogs can be used there. Similarly, pine sawlogs could technically be used in the sulphate mill unless they were not so expensive. Therefore pine logs do not substitute pine pulpwood although spruce logs are a viable alternative for spruce pulpwood.

M_{jo} There is a starting timber inventory in the beginning of the year at each mill. Spruce and pine sawlogs belong to the sawmill inventory, spruce pulpwood relates to the sulphite mill and pine pulpwood to the sulphite mill.

j		
1	2 300 cu.m.	— corresponds to three weeks' need of the mill
2	2 100 cu.m.	— corresponds to two weeks' need of the mill
3	8 400 cu.m.	— corresponds to four weeks' need of the mill
4	5 600 cu.m.	— corresponds to five weeks' need of the mill

B_{jt} The mills used a certain buffer stock that prevent possible raw material shortages. These buffer stocks (in cubic meters) are:

j	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$
1	2 400	3 100	5 800	3 600
2	600	800	1 600	1 000
3	1 400	1 700	3 500	2 100
4	1 600	1 900	3 700	2 200

The stocks for the end of quarter 1 correspond to approximately three weeks', quarter 2 correspond to one week's and quarters 3 and 4 correspond both to two weeks' timber use of the mills. The variations result from the differences of timber transportabilities during the seasons.

Y_o It is possible to purchase only a limited amount of timber directly from other firms. This quantity is supposed to be 46 800 cu.m. which corresponds to approximately 20 per cent of the mills' total timber need.

R_{ijo} There is a certain road side timber inventory available for transportation in all three geographical areas in the beginning of the year. These (again indicated in cubic meters) are:

i	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$
1	1 650	2 580	7 500	4 100	600
2	1 240	2 140	4 100	4 300	220
3	2 210	980	8 700	2 900	280
total	5 100	5 700	20 300	11 300	1 100

The sawlog road side inventories would fulfill the sawmill's timber need for about six weeks, the pulp mill's demands for pulpwood would be satisfied for almost one whole quarter. The birch pulpwood stocks at the road side are small.

R_{3t} In order to guarantee smooth transportation a certain minimum road side inventory is required for the »key» timber grade, spruce pulpwood:

t						
1	9 100	cu.m. — corresponds to	five	weeks'	need of	the mills
2	2 500	cu.m. — corresponds to	one and a half	weeks'	need of	the mills
3	5 300	cu.m. — corresponds to	three	weeks'	need of	the mills
4	10 500	cu.m. — corresponds to	six	weeks'	need of	the mills

The stocks should be at their fullest during the winter and spring time when the transportation may be slowed down due to bad weather conditions. They should be as low as possible in spring when the insect damages may occur in the piled timber.

H_{nt} There are certain capacities of the regularly employed resources each quarter. It is desirable to maintain these normal capacities (man or machine days):

	felling manpower	hauling machinery	trucks for transportation
t	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$
1	9 800	800	800
2	7 600	700	800
3	7 500	700	800
4	12 800	800	800

The traditional chain-saw loggers are a fairly flexible resource for the company because some of them work only in winter and fall quarters — during the busy logging season — and are employed elsewhere during the rest of the year. The firm usually makes use of a quite fixed amount of trucks during the year.

J_{nt} Although the goal is to maintain the resources' use of their normal capacities, overemployment may be necessary during the harvesting peaks. There are maximum limits in the possibilities of their utilization, however (man or machine days):

	felling manpower	hauling machinery	trucks for transportation
t	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$
1	4 100	270	250
2	3 000	220	130
3	1 700	150	110
4	3 200	260	210

Z_0, Z_1 The harvest from the firm's own forest is regulated by the cutting plan that includes a desired minimum (21 000 cu.m.) and maximum (33 000 cu.m.) level of felling.

V_{i3t} The regional delivery purchase possibilities are limited. The quarterly availability of spruce pulpwood — the key timber grade — is indicated (in cubic meters):

i	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 4$
1	3 600	4 000	3 900	8 700
2	1 800	2 500	2 600	5 700
3	2 000	2 200	2 300	5 200
total	7 400	8 700	8 800	19 600

The total amount of spruce pulpwood available corresponds to about half of the mill's need. Greatest part of delivery purchases takes place in late fall.

U_{i3t} The main part of timber is normally purchased on stump. Also stumpage purchase possibilities are limited (cubic meters):

i	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 4$
1	4 900	5 100	11 000	23 100
2	3 600	3 300	7 400	14 700
3	2 200	2 400	6 500	14 900
total	10 700	10 800	24 900	52 700

The total amount of spruce pulpwood available through stumpage purchases corresponds to the mill's demand. Purchases on stump occur primarily in the latter part of the year.

S_{ij0} The yearly beginning inventory of standing (stumpage timber) in the Finnish forest products companies can be quite sizable. In the case firm the sawlog inventory in standing timber corresponds to ten months' spruce pulpwood inventory six months' and pine pulpwood inventory four months' demands of the mills (cubic meters):

i	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
1	4 800	11 500	9 600	5 200	4 100
2	12 770	17 650	16 300	7 500	5 600
3	15 000	11 800	18 100	6 100	4 500
total	32 570	40 950	44 000	18 800	14 200

S_{34} The yearly beginning stumpage and road side inventories are so big that the mills can operate most of the year on them. However, the continuity of the production in the later years must be guaranteed, too. Therefore, a minimum standing timber inventory of the key timber grade of 47 000 cu.m. at the end of the last quarter is required. This comes close to five month's timber demand.

C In the goal program, a budget of 19 000 000 mk should cover the yearly wood procurement variable costs of the company.

Coefficients:

yc_{ijt} The transportation cost is a function of timber grade and distance. The distance is 40—70 km. In the beginning of the second quarter the unit cost increase is 23 per cent. The costs of transportation for 1974 from the three wood procurement areas to the firm's own mills are (mk/cu.m.):

i	$j = 1, 2$	$j = 3, 4$	
1	9,2	10,5	for $t = 1$
2	9,8	11,2	for $t = 1$
3	11,0	12,5	for $t = 1$
1	11,7	13,3	for $t = 2, 3, 4$
2	12,4	14,2	for $t = 2, 3, 4$
3	13,9	15,8	for $t = 2, 3, 4$

yc_{ijot} The firm operates in a region where there are many small sawmills. Therefore, the sawlogs' transportation distance to other firms is low (20—40 km) and the costs of transferring small. For pulpwood the transportation to other firms (50—90 km) is more expensive than to own mills (mk/cu.m.):

i	$j = 1, 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$	
1	7,3	10,8	11,2	12,7	for $t = 1$
2	6,6	9,8	11,5	15,2	for $t = 1$
3	8,0	12,5	11,2	8,5	for $t = 1$
1	9,3	13,7	14,2	16,1	for $t = 2, 3, 4$
2	8,4	12,4	14,5	19,3	for $t = 2, 3, 4$
3	10,1	15,8	14,2	10,8	for $t = 2, 3, 4$

The transportation distance of birch pulpwood to the mills varies greatly (20—100 km) from area to area. Therefore, its costs of transferring varies, too.

mp_{jt} Timber is sold to and purchased from other firms at a market price. Market prices in 1974 showed an increasing trend (mk/cu.m.):

t	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$
1	114,4	131,5	70,9	67,7	59,8
2	118,1	133,4	78,7	74,0	63,7
3	124,3	137,4	103,3	100,4	93,5
4	128,0	139,3	111,1	106,7	97,4

This price is a F.O.B. value at the purchasing firm's mill

xc_{ijt} The logging cost includes the payments for felling, bucking and limbing by chainsaw and hauling the timber to the road side. There are small differences in the regional logging costs. The average logging costs are (mk/cu.m.):

t	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$
1	12,6	11,9	24,3	21,8	22,8
2	14,7	13,8	28,2	25,4	26,5
3	15,7	14,8	30,2	27,2	28,4
4	16,9	15,9	32,4	29,2	30,5

The average logging cost increase for the year is some 30 per cent. Most of it occurs in the beginning of the second quarter. The numbers above include a seasonal variation in the (real) logging costs. The cause of this variation comes from the seasonal productivity differences. Coefficients ax_{jt} and bx_{jt} below show the direction of the variability.

hc_{nt} Overemployment of scarce resources may be expensive. It is assumed that overemployment of logging machinery causes a 50 per cent pay increase in hauling and overemployment of trucks a 100 per cent increase in transportation cost. In an average, the hauling cost increase would be 6,50 mk/cu.m. which, at an average productivity of some 60 cu.m./day, would result in the logging cost per day. The transportation cost increase would be about 13,3 mk/cu.m. This, coupled with an average productivity of 80 cu.m./day, causes a considerable transportation cost (cu.m./day):

t	logging machinery $n=2$	trucks for transportation $n=3$
1	313	840
2	422	1 064
3	455	1 064
4	450	1 064

kc_{nt} It is assumed that the regular logging machinery and truck transportation crews are guaranteed some pay even where they are unemployed. For the logging machinery this is 30 per cent and for transportation trucks 10 per cent of the regular daily pay (mk/day):

t	logging machinery $n=2$	trucks for transportation $n=3$
1	174	72
2	234	96
3	254	96
4	246	96

ax_{jt} The work input in felling, bucking and limbing depends on the timber grade distribution and season. The input is the reciprocal of the productivity. The productivity is at its lowest in winter and highest in summer. The work input is indicated in days per cubic meter:

t	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$
1	0,094	0,085	0,140	0,112	0,118
2	0,088	0,079	0,132	0,105	0,111
3	0,083	0,075	0,124	0,099	0,105
4	0,088	0,079	0,132	0,105	0,111

bx_{jt} The machine input in hauling has similar seasonal variability as the work input in felling, bucking and limbing. The input in hauling is the same for all sawlogs and, respectively, for the pulpwood (days/cu.m.):

t	$j=1,2$	$j=3,4,5$
1	0,014	0,026
2	0,012	0,022
3	0,011	0,021
4	0,013	0,024

cy_{ij} The truck input in transportation from the wood procurement areas to the mills is a function of the timber grade (days/cu.m).

i	$j=1,2$	$j=3,4,5$
1	0,0136	0,0154
2	0,0145	0,0165
3	0,0161	0,0183

cy_{ijo} The truck input in transporting sawlogs from the different regions is lower to other firms than to own mills because several other sawmills are scattered throughout the region. The other companies' pulpmills are situated relatively far from the regions. Therefore, the input in pulpwood transportation to other firms is great (days/cu.m.):

i	$j=1,2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$
1	0,0107	0,0160	0,0165	0,0178
2	0,0096	0,0165	0,0165	0,0215
3	0,0116	0,0165	0,0165	0,0121

vc_{ijt} The delivery purchase costs vary as a function of area, timber grade and quarter. The sawlog price increase for the year is about ten per cent and the pulpwood prices soar up by some 40—50 per cent. The delivery purchase prices are (mk/cu.m.):

t	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	
1	110,1	125,3	59,8	55,2	47,0	for $i=1$
2	113,5	127,2	68,6	63,8	54,7	
3	119,4	130,8	89,2	84,2	72,7	
4	122,8	132,5	98,0	92,1	82,6	

t	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	
1	113,4	128,2	62,7	57,8	47,5	for $i=2$
2	114,6	129,3	69,4	64,4	54,4	
3	120,2	131,2	91,9	86,1	72,2	
4	123,9	134,4	99,7	94,3	83,3	

t	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	
1	109,1	124,4	59,6	55,2	49,7	for $i=3$
2	111,2	126,5	68,0	63,8	57,5	
3	118,4	129,8	89,6	84,0	75,1	
4	121,9	131,9	97,4	92,0	84,2	

uc_{ijt} The sawlog stumpage purchase prices increase by almost ten per cent and the pulpwood prices become one to two times greater during the year. The stumpage purchase prices of the case firm are (mk/cu.m.):

t	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	
1	100,0	116,4	34,7	32,5	22,2	for $i=1$
2	101,7	118,0	42,8	40,5	30,8	
3	107,9	121,1	62,9	60,4	50,3	
4	109,8	122,4	71,1	68,4	60,8	

t	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	
1	103,7	119,1	38,5	35,6	22,3	for $i=2$
2	104,9	120,0	44,0	42,6	30,4	
3	109,1	123,1	64,3	61,8	51,3	
4	111,1	124,7	73,5	69,1	59,0	

t	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	
1	99,8	116,6	37,1	33,8	25,9	for $i=3$
2	101,6	118,8	44,5	42,7	33,2	
3	106,9	120,9	63,4	62,5	53,7	
4	109,6	122,2	72,9	69,9	62,6	

mc_j, rc_j, sc_j The mill, road side and standing timber inventory costs are assumed to consist only on the cost of capital invested. The capital invested is the money paid to purchase, log and transport the timber to the mills. For the four timber grades at the mill inventory this is, on average 132,8, 145,2, 102,2 and 96,9 mk/cu.m. For the five timber grades at the road side and stumpage inventory the capital invested amounts approximately to 111,7, 128,8, 61,9, 57,1, 46,0; and 107,3, 121,0, 62,6, 60,0, 51,0 mk/cu.m. The cost of capital is its interest cost at an interest rate of ten per cent p.a. The quarterly timber inventory costs then become (mk/cu.m.):

	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$
mc_j	3,1	3,4	2,0	1,9	..
rc_j	2,8	3,1	1,8	1,7	1,3
sc_j	2,6	2,9	1,5	1,4	1,2

Birch pulpwood ($j=5$) mill inventory cost is not included in the tabulation because the case firm's mill do not use this grade of timber. We see that the unit interest cost of storing timber is small. But since the firms often carry inventories that correspond to over one year's timber needs of the mills the total inventory cost may become a significant number.

sy, py It is necessary to keep the values of timber sales to and purchases from other firms somewhat in balance. This comes mainly from the fact that the purchase and sales is often bartering where no money is exchanged. The head of the case firm considers it more important to curtail excessive sales than to avoid excessive purchases. The value of sales is allowed to be, at most, 20 per cent greater than that of purchases ($sy = 1{,}20$), but the value of purchases may be 30 per cent higher than that of sales ($py = 1{,}30$).

rx_{ij} These coefficients guarantee that if any stumpage purchased timber grade is harvested in a forest, the other grades are cut in the proportions they exist in the standing trees. They are ratios of all grades' quantities to the quantity of the indicator grade of spruce pulpwood ($j=3$):

i	$j=1$	$j=2$	$j=4$	$j=5$
1	0,536	1,169	0,477	0,371
2	0,806	1,016	0,408	0,232
3	0,827	0,649	0,334	0,244

rz_{ij} Also all the timber grades from the firm's own forest must be harvested in the existing relative amounts. For that, coefficients rz_{ij} are computed in a similar fashion as rx_{ij} above:

i	$j=1$	$j=2$	$j=4$	$j=5$
1	0,754	0,708	0,328	0,253
2	1,091	0,890	0,273	0,175
3	0,930	0,665	0,227	0,191

The firm's own forest includes more spruce pulpwood and more sawntimber than the purchased tracts do.

ru_{ij} A contract to purchase timber from a forest owner requires that all timber grades of a tract are included. Coefficients ru_{ij} guarantee it:

i	$j=1$	$j=2$	$j=4$	$j=5$
1	0,714	1,030	0,414	0,345
2	0,929	1,107	0,357	0,179
3	0,818	0,636	0,333	0,242

ds_{jt} It is assumed that of the volume growth of the standing timber 70 per cent takes place in the spring and 30 per cent in the summer quarter. The increment is not significantly different between the regions. The average growth percentages is about four:

t	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$
2	0,029	0,023	0,032	0,026	0,038
3	0,012	0,010	0,014	0,011	0,017

The following objective function coefficients are included in the goal program:

ac_{jt} A possible shortage of timber that would cause the mills to work at less than capacity results in an emergency purchase from other firms. The price of this timber is assumed to be higher than the market price by 20 per cent for sawlogs and 30 per cent for pulpwood (mk/cu.m.):

t	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$
1	137,3	157,8	92,2	88,0
2	141,7	160,1	102,3	96,2
3	149,2	164,9	134,3	130,5
4	153,6	167,2	144,4	138,7

ac'_{jt} If the mills' inventories contain less timber than the buffer stocks, fast purchases from other firms are needed. This wood is assumed to be ten per cent more expensive than the normally purchased timber (mk/cu.m.):

t	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$
1	125,8	144,6	78,0	74,5
2	129,9	146,7	86,6	81,0
3	136,7	153,2	123,9	110,4
4	140,0	153,2	122,2	117,4

bc_{3t} A timber shortage of the road side inventories results in purchases of timber from other firms at a normal market price. Therefore, $bc_{3t} = mp_{3t}$.

cc_3 When the annual ending standing timber inventory is smaller than the necessary stock, some rush purchases become necessary. It is assumed that the price for that wood will be 20 per cent above its normal stumpage price during the last quarter: $cc_3 = 76{,}1$ mk/cu.m.

pc This is the cost of overcutting the firm's own forest. Overcutting means that in the future timber must be purchased more than planned. This timber is estimated to cost 20 per cent more than the timber of the last quarter. But with a ten per cent rate of interest the net cost factor will be 0,10. When this is multiplied by the average price of timber of the last quarter ($mp_{34} = 111{,}1$), coefficient pc becomes 11,1 mk/cu.m.

fc The possible exceeding of the annual wood procurement variables cost budget causes an interest cost with a rate of ten per cent: $fc = 0{,}10$.

The goal program of (a.2) has also been run with preemptive cost coefficients ($mg.$). Its objective function is changed to (a.2'). The highest priority mg_1 is given to the fulfillment of the mills' timber demands and the buffer stock requirements, the lowest, mg_8, to the minimizing of the timber inventory costs. The constraints of the new program remain the same as for (a.2).

$mg_1, \ldots, mg_8$ The preempive coefficient factors should be such that a higher preemptive goal is achieved before the next lower goal is to be worked with. The coefficients are: 10^{13}, 10^{9}, 10^{4}, 10, 10^{-3}, 10^{-8}, 10^{-12}, $10,^{-14}$.

34. Problem Solution and Results

The linear program (a.1) of centralization and the two goal programs (a.2 and a.2') of decentralization were solved with the IBM 370 computer MPSX mathematical programming library package.[1]) The linear program matrix was of size 405×542 with 2 734 elements and a density of 0,71, the matrices of the goal programs 406×604 with 2 854 elements and a density of 0,69. In the example firm the pilot runs in an average gave five per cent higher wood procurement cost for the goal program (a.2') with the preemptive priority factors than for the goal program (a.2) without the preemptive factors. Therefore, calculations with program (a.2') were stopped and further analyses concern only programs (a.1) and (a.2). Table A 1 shows a summary of the wood procurement schedules and the related costs. The schedules differed somewhat. The linear program gave 1.1 mill. mk or five per cent lower total wood procurement cost than the goal program. In the literature of decentralization this is called the loss from dysfunctional planning that comes from the participants' goal incongruence (e.g. H o r n g r e n 1972, p. 694).

The performances of linear program (a.1) of centralization and goal program (a.2) can best be compared by studying how well they fulfill the timber division head's and function managers' goals. The goals are:

1. Total variable wood proc. cost $\leq$ budget: 19 mill. mk ($= C$)
2. Timber delivery to the mills $\geq$ mills' need, total: 234 100 cu.m. $\left(= \sum_{j=1}^{4} \sum_{t=1}^{4} D_{jt}\right)$
3. Timber inventory at mills $\geq$ buffer stock need, total: 37 000 cu.m. $\left(= \sum_{j=1}^{4} \sum_{t=1}^{4} B_{jt}\right)$

[1]) The author is indebted to Enso Gutzeit Co. and especially its operations research specialist, Mr. Antti Kanerva, for the carrying out of the computations.

4. Timber inventory at the road side $\geq$ storage need (of spruce pulpwood) in the end of year: 27 400 cu.m. ($= R_{34}$)

5. Timber inventory on stump $\geq$ storage need (of spruce pulpwood), at the end of year:

   47 000 cu.m. ($= S_{34}$)

6. Employment of trucks for transp. = normal capacity, total: 3 200 mach. days

$$(= \sum_{t=1}^{4} H_{3t})$$

7. Employment of logging machinery = normal capacity, total: 3 000 mach. days

$$(= \sum_{t=1}^{4} H_{2t})$$

8. Cut from the firm's own forest $\leq$ maximum cutting budget: 33 000 cu.m. ($= ZS_1$)

9. Minimization of total timber inventory cost within the given constraints.

The 19 mill. mk wood procurement budget was exceeded by 0,4 mill. mk, under centralization, and by 1,5 mill. mk, under decentralization. Thus the timber division head's financial goal of 19 mill. mk was not reached in this case. Of the other goals, all timber shortages according to the wishes of the function managers were avoided at mills, in mill buffer stock, at the road side and on stump under both centralization and decentralization. Similarly neither of the two programs exceeded the firm's own forest's cutting plan. The keeping of these goals appeared in the maintaining of feasibility of the linear program and in the forcing of the goal deviation variables m_{jt}^-, m_{jt}°, r_{3t}^-, s_{34}^-, and z^+ to zero in the goal program. The goal program succeeded in maintaining the resource employment goals: the values of all h_{nt}^+, h_{nt}^--variables were zero.

The linear program, however, failed in this respect: some non-zero h_{nt}^--values appeared. The solution according to the goal program suggested over ten mill. cu.m. lower timber inventories than the linear program solution. Thus it avoided accumulating useless timber in the stumpage inventory and fulfilled the timber inventory cost minimization target better than the linear program solution. The question now arises: is the better attainment of the managerial planning targets of the goal program worth the poorer cost performance of 1.1 mill. mk? Or, if we consider not only the planning but also the implementation of wood procurement, the question becomes: is the better attainment of the managerial goals and a possibly better motivation of the function managers to execute the goal program solution worth the apparently poorer economic result of 1.1 mill. mk? These points are hard to answer. In fact, it does not belong to the scope of this study to answer them. It is the decision maker's task.

The sensitivity analyses showed that the timber division's wood procurement cost depends greatly on the amount of timber traded with other firms. Trading is profitable business because of the revenues from sales and the cost savings from purchases. Savings come from the improved possibilities to satisfy the individual timber grade demands of the mills. The 19 mill. mk wood procurement cost target can be attained or passed below even under centralization only if a fair amount of trading is allowed. In Figure A 7 this region opens to the left of point x. The point represents the timber trading level of the basic program (which corresponds to a yearly timber purchase limit of 20 per cent of the mills' total timber needs: $Y_o = 46\,800$ cu.m. in constraint (A.3) right-hand-side). Conversely said, point x shows the required timber division's 80 per cent self-procurement level of wood to the mills.

Table A 1. Wood procurement schedules (M cu.m.) and costs according to the linear program (centralization) and goal program (decentralization).

Taulukko A 1. Lineaarisen ohjelman ja tavoiteohjelman mukaiset keskitetyn ja hajautetun puunhankinnan suunnitelmat (1 000 m³) ja kustannukset.

Activity	Linear program (a.1)				Goal program (a.2)			
	Region i			Total	Region i			Total
	1	2	3		1	2	3	
Transp. to mills $\sum_{j=1}^{4}\sum_{k=1}^{3}\sum_{t=1}^{4} y_{ijkt}$	66,1	34,5	76,8	177,2	97,7	70,2	9,2	177,1
Transp. to other firms $\sum_{j=1}^{5}\sum_{t=1}^{4} y_{ij0t}$	6,3	16,7	11,0	34,0	12,9	21,8	1,4	36,1
Purchase from other firms $\sum_{j=1}^{4}\sum_{k=1}^{3}\sum_{t=1}^{4} y_{0jkt}$	..	..	..	46,8	..	..	..	46,8
Logging of purchased timber $\sum_{j=1}^{5}\sum_{t=1}^{4} x_{ijt}$	29,3	0	70,0	99,3	81,7	50,0	3,5	135,2
Logging of own timber $\sum_{j=1}^{5}\sum_{t=1}^{4} z_{ijt2}$	0	32,7	0	32,7	0	32,7	0	32,7
Delivery purchase $\sum_{j=1}^{5}\sum_{t=1}^{4} v_{ijt}$	26,2	6,2	12,2	44,6	11,2	0	0	11,2
Stumpage purchase $\sum_{j=1}^{5}\sum_{t=1}^{4} u_{ijt}$	34,6	9,5	58,5	102,4	65,9	0	64,4	130,3
Ending mill inventory $\sum_{j=1}^{4} m_{ij\frac{t}{4}}$	..	..	..	9,1	..	..	..	9,4
Ending road side inv. $\sum_{j=1}^{5} r_{ij\frac{t}{4}}$	0	0	10,5	10,5	0	2,5	7,9	10,4
Ending stumpage inv. $\sum_{j=1}^{5} s_{ij\frac{t}{4}}$	42,5	72,3	45,4	160,2	20,7	9,8	118,8	149,3
Wood procurement cost, mill. mk	19,4				20,5			

Curves LP_1 and GP_1 show the sensitivity of the wood procurement costs under centralization and decentralization to the timber self-procurement level requirement. When the level increases the costs grow for the linear program faster than for the goal program. With self-procurement of over 93 per cent the goal program of the two produces a lower cost wood procurement plan.

This result appears to be rather strange: in some cases decentralization produces an economically better plan than centralization. It contradicts the statement in the beginning of Appendix 31 according to which the (centralized) linear program should result in the globally optimal plan. The contradiction can be explained by the observation that the two programs are not commensurable, when the

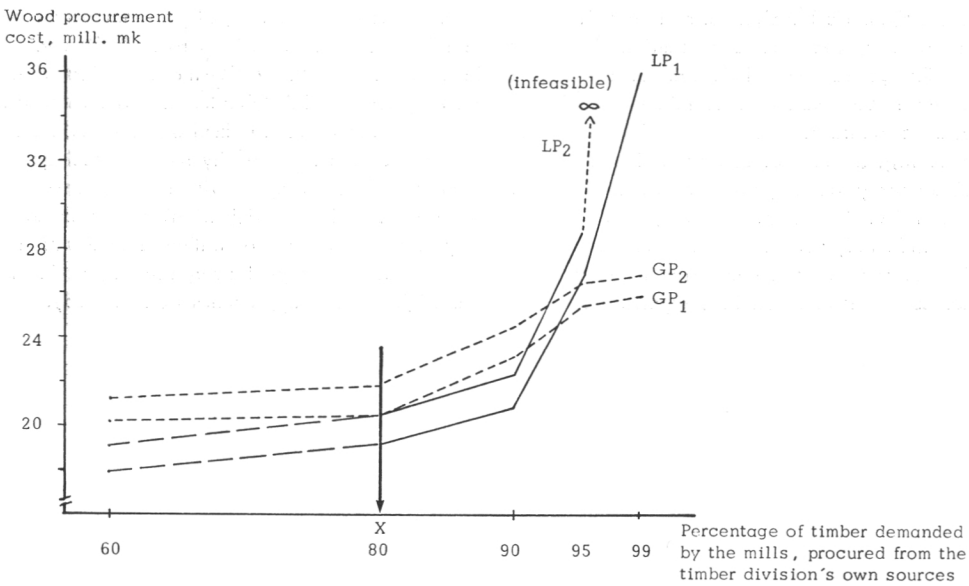


Figure A 7. Wood procurement costs according to the linear program (LP_1) and goal program (GP_1) as functions of the firm's demanded self-procurement level of timber; LP_2 and GP_2 indicate costs when the mills' buffer stock requirements double from the normal.

Kuva A 7. Lineaarisen ohjelman (LP_1) ja tavoiteohjelman (GP_1) optimiratkaisun mukaiset puunhankinnan kustannukset puunhankinnan omavaraisuusvaatimuksen funktiona. LP_2 ja GP_2 kuvaavat kustannuksia, kun tehtaiden puskurivarastotarve kohoaa kaksinkertaiseksi normaalitasosta.

linear program solution approaches infeasibility. In such a situation the linear program has a small feasible region and, accordingly, a limited number of corner points among which to choose the optimum. For the goal program, information of several of the linear program constraints is transferred to the objective function goals. This enlargens the feasible area and the amount of corner points. In marginal cases the larger feasible region may include points where the goal program then produces lower cost than the linear program. This results from trade-offs between the cost goal and other targets in the goal program. The other targets' fulfillment levels are lowered. In the linear programming context such trade-offs would not appear. This is why we say that the programs are not commensurable.

The flexibility of the goal program allows its use in wood procurement planning even when the corresponding linear program is not only close to, but in fact is, infeasible (cf. Figure 13 in section 331). This we see also in Figure A 7. There curves LP_2 and GP_2 show the wood procurement costs according to the linear program and goal program when the mills' buffer stock requirement constraints are tightened. The requirements double to a total of 74 000 cu.m. This results in an increase in the wood procurement cost to increase by some 1,4 mill. mk. It also causes the linear program to become infeasible at a high, 99 per cent, timber self-procurement level. When infeasibility occurs wood could not be procured to the mills even at an infinite cost. The goal program, instead, is able to produce an acceptable, not extremely high-cost wood procurement plan.

The computational experiments concern only one goal program formulation (a.2). The data involved belong to the case firm of Appendix 33. Therefore, we cannot draw too general conclusions from the calculations. The results concur, however, well with what we have deduced in the

more theoretical analysis of section 331. Robustness is a special feature of goal programming. The approach is applicable for situations where feasible solutions tend to be hard to find. Due to its flexibility it can be applied for rapidly changing market conditions. It can produce meaningful solutions based on the decisions makers' contradicting, subjective goals or opinions concerning the uncertain market conditions. These properties make it a useful approach for decentralized wood procurement planning. In difficult conditions it may perform better than the theoretically superior technique, linear programming, under centralization. The observation does not agree with the hypothesis of Fielder (1967, pp. 133—153) according to which decentralization (participation) is most effective in moderately favorable conditions but works poorly in very favorable or unfavorable situations. Future computational experiments may show in more detail how goal programming performs under decentralization in comparison to some other high ranking approaches of this study.

RULLATAIMIMENETELMÄ TAIMITARHALLA JA METSÄNVILJELYN TOIMENPIDEKETJUSSA

KOULITUT MÄNNYN TAIMET

PENTTI NISULA

Summary

THE ROLL TRANSPLANT METHOD IN THE NURSERY AND IN THE FORESTATION WORK CHAIN

THE PINE TRANSPLANTS

HELSINKI 1978

ODC 232.32 + 232.4:305 - - 087
ISBN 951-40-0329-2
ISSN 0026-1610

NISULA, P. Rullataimimenetelmä taimitarhalla ja metsänviljelyn toimenpideketjussa. Koulitut männyn taimet. Summary: The roll transplant method in the nursery and in the forestation work chain. The pine transplants. Commun. Inst. For. Fenn. 93 (5): 1—112.

Tutkimuksessa selvitettiin tekijän kehittämän rullataimimenetelmän käyttömahdollisuuksia taimitarhalla ja metsänviljelyn toimenpideketjussa.

Taimitarhaa varten kehitettiin koneikko ja suoritettiin aikatutkimuksia, joiden avulla laadittiin yhtälöitä tuotoksen laskemiseksi eri tapauksissa. Taimien hoito- ja kuljetusmenetelmiä kehitettiin ja samoin kuin istutuksen osaltakin kerättiin aikatutkimusaineistoa työaikaa kuvaavien yhtälöiden laatimiseksi.

Pääasiassa keskellä kesää rullataimilla istutettujen taimistojen vakiintumista seurattiin useissa istutuskohteissa. Tällöin havaittiin niiden menestyvän suunnilleen samoin kuin keväällä istutettujen paljasjuuristen taimienkin.

Työ päättyy kustannusten laskentaesimerkkiin, jonka tapaan rullataimimenetelmän muuttuvat kustannukset taimitarhalla ja metsänviljelyn toimenpideketjussa voidaan laskea eri tapauksia varten.

The suitability of the roll transplant method developed by the author for use in the nursery and forestation work chain was analyzed in this study.

A transplanting machine system was developed for the nursery, and, with the help of time studies, functions for production calculations were worked out. Methods for growing and transporting plants were developed, and at the same time, time study material was collected for working out functions to determine time expenditures. Time studies were also carried out on planting work. The establishment of plantations planted mainly in the middle of the summer was followed at several planting sites. These plants seemed to be thriving about as well as the bare-rooted plants planted in the spring.

The article ends with an example of the cost calculation with which variable costs of the roll transplant method in the nursery and forestation work chain can be calculated.

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Oheisen tutkimuksen lähtökohdat juontavat 50-luvun alkuun. Siitä lähtien olen kehitellyt erilaisia ratkaisumalleja metsänviljelyn toimenpideketjuun soveltuvan paakkutaimien tuotantomenetelmän löytämiseksi. Vasta viisitoista vuotta myöhemmin nämä ponnistelut johtivat keksintöön »Tapa taimien, varsinkin puuntaimien tuottamiseksi», joka on tämän tutkimuksen kohteena.

Suomen Kulttuurirahasto on tukenut keksinnön kehittämistä. Metsäntutkimuslaitos hyväksyi tutkimuksen aikanaan työohjelmaansa ja tässä käsiteltävä osa joutui kirjoittajan suoritettavaksi.

Tutkimus- ja kehittelytyötä on tehty useilla taimitarhoilla ja niiltä käsin. Valitettavasti kirjoittajan kiitokset eivät enää tavoita edesmennyttä professori Risto Sarvasta, jonka ansiosta tutkimus otettiin Metsäntutkimuslaitoksen työohjelmaan. Metsäneuvos Oiva Lyytinen ja ylimetsänhoitaja Simo Halonen ovat ratkaisevasti myötävaikuttaneet siihen, että rullataimimenetelmään liittyvät kokeilut käynnistyivät nopeasti käytännön mittakaavassa. Piirikuntapäällikkö Jaakko Sointu, apteekkari Lars Grenman, metsänhoitajat Antti Isoaho, Usko Leskinen ja Pentti Tyystjärvi ovat myötämielisellä suhtautumisellaan ja käytännön toimin monella tavoin edistäneet tutkimusta. Erityisesti haluan lisäksi mainita metsäpäällikkö Hannu Ventolan, jonka ansiosta laajat kokeilut voitiin käynnistää Etelä-Hämeessä H. G. Paloheimo Oy:n omistamalla Kormun tilalla. Kaikille edellä mainituille haluan lausua parhaimmat kiitokseni.

Lukuisat ovat ne henkilöt, jotka ovat muuten auttaneet minua työssäni. Esitän parhaat kiitokseni heille kaikille ja erityisesti maanviljelijä Voitto Mäki-Nisulalle ja asentaja Mikko Kivelälle, jotka ovat ratkaisevalla tavalla auttaneet rullataimikoneikon rakentamisessa ja kehittelytyön onnistumisessa.

Tutkimuksen kuluessa olen saanut innostavaa opastusta ja tukea työni ohjaajalta prof. Kalle Putkistolta ja esimieheltäni vs. prof. Matti Kärkkäiseltä, jotka ovat lukeneet käsikirjoituksen. Heille, samoin kuin muille käsikirjoituksen lukeneille, vt. prof. Matti Leikolalle ja vs. prof. Pertti Harstelalle, esitän parhaat kiitokseni. Samalla kiitän maisteri Raija Koposta, joka tarkasti suomenkielisen tekstin ja J. Deromea, B. Sc., joka suoritti englanninkielisen tekstin kääntämisen.

Vielä lopuksi haluan erityisesti kiittää niitä monia työtovereitani, jotka ovat auttaneet aineiston keräämisessä ja tutkimuksen valmistelussa.

Helsinki 1977

Pentti Nisula

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1. JOHDANTO 5
   11. Paakkutaimituotannon taustaa 5
   12. Katsaus taimien koulintamenetelmiin 6
2. TUTKIMUSTEHTÄVÄ JA SEN RAJOITTAMINEN 12
3. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO 15
4. RULLATAIMIEN TUOTTAMINEN 17
   41. Tuotantokoneikon kehittäminen 18
      Rullakone 19
         Koulinta rullakoneella 25
         Rullakoneen lisälaitteet 26
      Turvekone 30
      Rullien katkaisulaite 32
      Lastaussilta ja kuljetusvaunu 35
   42. Tuotos 36
      Koulijat 37
      Koulintakoneikko 42
   43. Käyttövoima ja -tarvikkeet 47
   44. Taimien kasvattaminen taimitarhalla 51
5. METSÄNVILJELYN TEKNIIKKA 62
   51. Rullataimien kuljetus 62
   52. Rullataimien istutus 70
6. TAIMISTOJEN KASVU JA KEHITYS 75
7. ESIMERKKI TULOSTEN HYVÄKSIKÄYTÖSTÄ 89
8. TULOSTEN TARKASTELU 92
9. TIIVISTELMÄ 97

KIRJALLISUUSLUETTELO — *REFERENCES* 100

SUULLISET TIEDONANNOT — *PERSONAL COMMUNICATIONS* 104

KUVIEN VIITENUMEROIDEN SELITYKSET (Liite 1) — *KEYS TO REFERENCE NUMBERS USED IN THE FIGURES (Appendix 1)* 105

SUUREIDEN TUNNUKSET JA MITTAYKSIKÖT (Liite 2) — *PARAMETERS AND MEASUREMENT UNITS (Appendix 2)* 107

SUMMARY 110

1. JOHDANTO

11. Paakkutaimituotannon taustaa

Metsänviljely on usein aloitettu paakkutaimilla, esim. juurikokkare- tai ruukkutaimilla. Näin oli asianlaita myös Suomessa (H u u r i 1969). Päätavoitteena on ollut metsänviljelyn onnistumisen varmistaminen. Myöhemmin on toimenpiteiden taloudellisuuden vaatimus kasvanut. Lähinnä tästä syystä siirryttiin meilläkin jo varhain, lähinnä saksalaisten esimerkin mukaan, istuttamaan paljasjuurisia taimia. Aina 1960-luvulle saakka lähes koko taimituotantomme oli koulittujen tai koulimattomien paljasjuuristen taimien kasvattamista.

Myöhemmin on ollut uhkana metsätyövoiman ja kausiluonteisen istutustyöväen niukkuus, minkä takia on pyritty istutuskauden pidentämiseen. Tämän vuoksi ja metsänviljelyvarmuuden lisäämiseksi ovat paakkutaimet joutuneet uudestaan huomion kohteeksi.

Paakkutaimien tuottaminen alkoi meillä koulintamenetelmänä. Pyrkimyksenä oli taimitarhahoidon lyhentäminen ja istutusajan pidentäminen. 1960-luvulla kokeiltiin ensin turveruukkutaimia (L a i t i n e n 1964) ja sittemmin rullataimia (N i s u l a 1967). Kummankin paakkutaimilajin heikkoutena pidettiin juuripaakun suuruutta, joka kohotti kuljetuskustannuksia.

1960-luvun loppupuolella pyrittiin eroon näistä suuresta paakusta aiheutuvista vaikeuksista. Jotta paakun kokoa olisi voitu pienentää, tyydyttiin yhä nuorempiin taimiin, lähinnä yksivuotiaisiin tai jopa istutuskesänä tuotettuihin sirkkataimiin. Tämäntyyppisten taimien idean oli jo 1950-luvulla kehittänyt kanadalainen W a l t e r s (1961). Vasta 1960-luvun puolivälin paikkeilla W a l t e r s i n idean pohjalta lähti kehitystyö käyntiin Kanadassa. Siellä ja USA:ssa menetelmää on voimakkaasti kehitetty ja käytetty metsänviljelyssä (Proceedings . . . 1974). Englannissa on selvitelty menetelmän soveltuvuutta nimenomaan turvemaille (L o w 1971).

Näin ovat kylvö ja istutus lähestyneet toisiaan. Pienten taimien istuttamiseen avautui otollinen tilaisuus maanmuokkauksen yleistyessä. Laajimmin meillä on käytetty japanilaisten T a k a g i n ja M a s u d a n (1967) keksintöön perustuvaa menetelmää, jossa siemen kylvetään hunajakennomaisesti toisiinsa liittyviin, kasvuturpeella täytettyihin paperikennoihin, joiden välinen liimaus irtoaa istutusvaiheessa. Paperikennojen nopeaa istuttamista varten kehitettiin uusi työkalu, ns. pottiputki. Myös turveruukkua ja -rullaa on käytetty paakullisten siementaimien tuottamiseen.

Nykyään Suomessa taimitarhoilla tuotetaan neljää paakkutaimilajia: turveruukku- (Laitinen 1964), rulla- (Nisula 1965), paper pot- (Takagi ja Masuda 1967) ja ensotaimia (Turunen ja Hallikainen 1973). Muita kuin edellä mainittuja paakkutaimia tuotetaan meillä vain vähäisessä määrin tai kokeiluluonteisesti.

Taimitarhojen koneellistamista ovat tähän asti harrastelleet pääasiassa taimitarhamiehet itse. Alan markkinat on yleensä katsottu niin vähäisiksi, etteivät konepajat, ehkä aivan viime aikoja lukuun ottamatta, ole olleet kiinnostuneita taimitarhojen vaatimista erikoiskoneista (esim. Machinensystem . . . 1964, Hitt 1971, Rotty 1971). Sama koskee myös paakkutaimien tuottamista.

Vasta viime vuosina ovat tutkijat ja ennen kaikkea kaupan ja teollisuuden yrittäjät, kuten meillä Suomessa esimerkiksi A. Ahlström Oy:n ja Lännen Tehtaat Oy:n taimikasvatusosastot, pyrkineet luomaan omaperäisiä ja rationaalisia paakkutaimien tuotantomenetelmiä ja niihin liittyviä metsänviljelyketjuja (vrt. esimerkiksi Walters 1961, Laitinen 1964, Nisula 1966, Takagi ja Masuda 1967 sekä Takagi ym. 1971). Ilmiö on yleismaailmallinen.

12. Katsaus taimien koulintamenetelmiin

Taimien koulinnalla tarkoitetaan nostettujen taimien istuttamista uuteen kasvupaikkaan hoitokasvatuksen aikana. Samalla taimet lajitellaan poistamalla huonot yksilöt. Koulinnalla pyritään supistamaan juuriston kokoa ja lisäämään sen haaroittuneisuutta. Näin saadaan suurellekin taimelle riittävä juuristo sen kokoiseksi, että taimen myöhempi metsään istuttaminen käy vielä sopivan joutuisasti ja että taimen mahdollisuudet jatkaa kasvuaan istutuksen jälkeen pysyvät kohtuullisina.

Meillä paljasjuurisia taimia tuotetaan yleensä koulimalla. Tosin mäntyä on jonkin verran kasvatettu ilmankin. Koulinta on usein ollut käsityötä, mutta viime aikoina on koneellinen koulinta lisääntynyt. Näin on voitu vähentää työvoiman tarvetta ja kustannuksia.

Käsikoulinnassa taimet asetetaan avattuun koulintavakoon yksitellen koulintalautaa tukena ja taimien välimatkan osoittavana asteikkona käyttäen tai useamman taimen ryhmänä tarkoitukseen sopivalla koulintakammalla. Tällöin taimet ladataan kampaan esim. 5 cm:n päähän toisistaan. Kampaan aseteltu taimiryhmä siirretään sitten vakoon, taimien juuret peitetään ja kampa laukaistaan auki (Lehto ja Simolinna 1966).

Käsikoulinnan tuotosta on pyritty nostamaan. Työn tuottavuutta on lisätty esimerkiksi avaamalla koulintavako koneellisesti. Tästä on edelleen siirrytty konekoulintaan. Työmenetelmään kuuluu silloin tavallisesti traktorivetoinen koulintakone, jossa on istuimet esim. 4—6 koulijalle. Koulijan kohdalla oleva vannas avaa jatkuvaa vakoa, johon taimet pistetään määrävälein. Takana tulevat peittopyörät puristavat vaon umpeen taimen ympärille.

Konekoulinnan ihmistyö on usein raskasta kumaran työasennon takia. Koneeseen on usein liitetty taimenluovutin, jolloin koulijan työasento on saatu paremmaksi. Koulijan tehtäväksi on jäänyt asettaa taimet luovutuslaitteeseen koulintanopeudella.

Konekoulintaa on pyritty rationalisoimaan toisellakin tavalla. Tällaista suuntausta edustaa menetelmä, jossa taimet ensin sisätiloissa erikoislaitteessa asetellaan kahden liimanauhan väliin koulintaetäisyydelle toisistaan ja kääritään rullaksi. Liimanauhat ovat kapeita ja osuvat vastakkain taimien juurenniskan seutuvilla vain niin leveästi kuin on tarpeen riittävän vakavuuden saavuttamiseksi, kun taimirulla koulintakoneen yhteydessä olevalla laitteistolla puretaan ja suunnataan nauhana koulintakoneen vannaksen tekemään vakoon (Chauzamy, G-A. ja Chauzamy, M. 1954, Koch, H. ja Koch, T. 1957 ja Nielsen 1959). Maassa liimanauhat vähitellen häviävät. Perusideana on kiinnittämällä taimet nauhalle lisätä koulintanopeutta niin, että etukäteen rullalle pakkaaminen on taloudellista. Menetelmä voi jonkin verran tasata taimitarhatyön kausihuippuja, koska rullalleajo voidaan suorittaa ennen koulinta-alueiden sulamista. Menetelmä ei ole kuitenkaan saanut sijaa taimitarhoilla.

Edellä mainitut koulintamenetelmät liittyvät paljasjuuristen taimien tuottamiseen taimitarhassa joko avoimella pellolla tai muovihuoneessa. Taimien morfologisiin ominaisuuksiin vaikuttavien tekijöiden puolesta niille on yhteistä se, että niissä nostetun siementaimen *hajajuurinen* eli joka suuntaan harottava juuristo puristetaan koulintavakoon litteäksi. Koulittu taimi alkaa siis uuden kehitysvaiheensa *tasojuuristoisena*, mutta koska juuristo luontaisesti pyrkii haarottumaan, se kasvaessaan vähitellen uudestaan muotoutuu hajajuuriseksi. Jokaisen koulinnan yhteydessä, jos koulinta uusitaan, tapahtuu samantapaista juuriston deformoitumista.

Koulittuja paakkutaimia voidaan tuottaa myös niin, että nostovaiheessa lohkaistaan jokaisen taimen mukaan sen juurien ympärille kiinnittynyt maakimpale. Taimen juuriston tärkein maayhteys säilyy ehjänä, ja sille jää hyvät edellytykset kasvun jatkamiseen istutuksen jälkeenkin. Itse asiassa kuvattu menetelmä lienee alkuperäinen tapa tuottaa koulittuja tai koulimattomia paakkutaimia. Menetelmän vaikeutena on ollut taimien juuripaakun huono koossapysyvyys ja paakun epämääräinen ja suurehko koko. Parhaisiin tuloksiin on päästy käytettäessä säikeistä kasvualustaa, esim. kasvuturvetta, joka fysikaalisen rakenteensa vuoksi jossain määrin itsestään paakkuuntuu. Paakun lopullinen koossapysyminen riippuu ratkaisevasti taimen juuriston omasta haarottuneisuudesta. Mitä maatumattomampaa turvetta käytetään, sitä paremmin paakkuuntuminen onnistuu.

Koulittuja paakkutaimia on tuotettu samalla periaatteella kuin koulittuja paljasjuurisia taimia. Tavoitteena on siis ollut kookas taimi, jolla on suppea-alainen, mutta voimakkaasti haarottunut juuristo yhtyneenä paakkutaimen ominaisuuksiin, joiden ansiosta taimi voidaan juuristoa vahingoittamatta siirtää istutuskuoppaan. Tästä syystä koulittujen taimien käyttäminen on mahdollista vaikeissakin viljelyolosuhteissa ja istutuskautta voidaan huomattavasti pidentää kesän kuivempia kausia kohden.

Tavallisesti paakkukoulinnassa nostettu taimi tavalla taikka toisella sijoitetaan seinämien rajaamaan kasvualustapaakkuun, jossa se kasvaa suuremmaksi. Myöhemmin taimi viedään metsään ja pannaan sellaisenaan istutuskuoppaan.

Astiaan koulittaessa on käytetty pääasiassa kahta menetelmää. Toisessa koulittava taimi istutetaan astian keskelle kasvualustapaakkuun tehtyyn reikään. Toisessa mene-

telmässä taimen juuristo sijoitetaan astian keskelle ja kasvualustaa sullotaan joka taholta juurien ympärille, kunnes astia on täyttynyt ja taimi pysyy tukevasti pystyssä. Kasvualusta voidaan asettaa myös ennen astiaan panoa taimen juuren ympärille, minkä jälkeen tällainen irtopaakkuun suljettu taimi työnnetään tai muulla tavoin suljetaan astiaan. Tavallisimmin astiaan koulitaan vain yksi taimi, mutta toisinaan voidaan siihen määrävälein sijoittaa useitakin taimia, jotka ennen istutusta leikataan irti yksittäisiksi paakkutaimiksi.

Paakkutaimien tuotannossa on käsityövaltaista koulintavaihetta luonnollisesti pyritty rationalisoimaan ja koneellistamaan. Maalla täytettyyn astiaan koulittaessa on yleensä käytetty pieniä taimia, jolloin puikolla on tehty ensin kasvualustaan reikä, ja sujutettu juuristo siihen. Tällaista sirkkataimiasteella tapahtuvaa koulintaa on varsin runsaasti käytetty esim. afrikkalaisissa taimitarhoissa (M i k o l a 1969), joissa halpaa työvoimaa on ollut runsaasti tarjolla. Koulinta on tavallisesti suoritettu joko pohjallisiin muovipusseihin tai pohjattomaan muovisukkaan sullottuun kasvualustaan. Istutusvaiheessa on muoviseinä poistettu.

Aiemmin Afrikassa taimet tavallisesti koulittiin puikkokoulintana 38 × 38 × 13 cm suuruisiin puulaatikoihin riveittäin, tasaisten välimatkojen päähän toisistaan (Tree planting . . . 1956). Juuripaakut pidettiin toisistaan erillään leikkaamalla viikottain vuorosuuntiin, jolloin saatiin aikaan seinättömiä juuripaakkuja (Tree planting . . . 1955). Laatikko oli kooltaan sopiva pään päällä kannettavaksi.

Israelissa on käytetty samantapaista laatikkotekniikkaa. Laatikot on kuitenkin tehty tervatusta pellistä ja ne palautetaan istutuksen jälkeen takaisin taimitarhalle (M i k o l a 1969).

Monissa maissa on käytetty maapuristeita kylvö- tai koulinta-astioina. Puriste muotoillaan usein maan, olkisilpun ja lannoitteiden seoksesta erityisessä laitteessa, poikkileikkaukseltaan esim. kuution muotoiseksi. Keskellä puristetta on reikä, joka täytetään tavallisella kasvualustalla. Tähän löysään maakerrokseen voidaan sitten koulia pieni taimi koulintapuikkoa käyttäen tai sullomalla täytemaata reikään asetetun taimen ympärille (M i k o l a 1969, Soil-potta . . . 1954). Istutuspaikalle taimipuristeet toimitetaan laatikoissa.

Samantapaiseen koulintamenetelmään pyrkii ruotsalainen ratkaisu, jossa lannotetusta kasvuturpeesta kierukkapuristimen avulla tehdään salaojaputken muotoista turveputkea (P e r s s o n ym. 1960). Saatu putki pätkitään ja reikään pantuun löysempään maahan voidaan kylvää siemen tai koulia taimi.

Saksalainen K r a u s e (1954) on rakentanut kahden henkilön käytettäväksi tarkoitetun taimien paakutuskoneen. Käyttäjistä toinen asettaa koneeseen taimen ja toinen maan. Kone puristaa tämän jälkeen maan taimen ympärille. Valmiiksi paakutettu taimi asetetaan tämän jälkeen sopivan kokoiseen, 40—80 mm läpimittaiseen ruukkuun. Tuotokseksi on ilmoitettu 1 500 tainta tunnissa.

Melap-nimisellä yksinkertaisella laitteella voi yksi henkilö tuottaa maapuristeeseen koulittuja taimia. Laitteessa tehty paakku on poikkileikkaukseltaan neliön muotoinen

ja kooltaan 8 × 8 × 12 cm. Paakku muotoillaan metallikehikossa ulosvedettävän lastan päälle siten, että koulittava taimi asetetaan siihen täytön puolivälissä ja kehikon täytyttyä paakku tiivistetään paikoilleen ja vedetään lastan varassa ulos muotista (»Melap» device . . . 1959).

Taimien astioissa tuottamisella on hyvin pitkä käytäntö takanaan varsinkin trooppisilla ja semiaridisilla alueilla. Koska astia on ollut huomattava kustannustekijä, on pyritty löytämään huokeampia ratkaisuja. Käytetyistä astiatyypeistä ja astioiden rakennusaineista voidaan mainita mm. bambu- ja savihylsyt, banaanipuun kuidut, pahvi, vaneri, sementti ja pelti sekä viime aikoina turpeen ja selluloosan seos, muovikalvo sekä paperi. Vasta viimeksi mainittujen halpojen astia-aineiden myötä on paakullisten taimien tuottaminen lauhkeassa ja kylmässä ilmastossa nopeasti lisääntynyt (Tree planting . . . 1955).

Suomessa alettiin 1960-luvun alussa laajemmin kokeilla turveruukkuja paakkutaimien tuottamiseen (L a i t i n e n 1964). Pieni taimi asetettiin joko selluloosan ja turpeen seoksesta valmistetun astian keskelle ja kasvuturvetta tungettiin sen ympärille tai taimen juuristo suljettiin ensin esim. koulijan toista kämmentä vasten asetetun turvepaakun sisälle, ylipitkät juuret katkaistiin ja tämä tekopaakku sujautettiin ruukkuun. Koulija saattoi käsitellä jopa 4 000 tainta päivässä. Metsänviljely koulituilla turveruukkutaimilla on yleensä johtanut hyviin tuloksiin. Metsittämiskustannuksia on kuitenkin pidetty korkeina, ja viime aikoina turveruukkuun koulittu taimi on pyritty korvaamaan ruukkuun kylvetyllä siementaimella. Turveruukkuun koulintaa meillä ei ole yritetty koneellistaa.

Fertilex-Automatic . . . (1966) esittelee ranskalaisvalmisteisen Fertilex -nimisen ruukutuskoneen, jolla kuuden henkilön työryhmä täyttää tunnissa 1 800 ruukkua eli 300 ruukkua työntekijää kohden. Ruukut työnnetään neljän täyttösuppilon alle. Taimet kiinnitetään kumipitimellä sopivalle korkeudelle ruukun keskelle. Ruukku ja taimi tärisevät samassa tahdissa silloin, kun suppilosta lasketaan ruukkuihin hyvin sekoitettua maata.

Italiassa on rakennettu samantapainen laite muovipusseihin koulimista varten. Työryhmä, johon kuuluu yksi mies ja kolme naista, koulii täyttökoneen avulla 700 tainta tunnissa (M i k o l a 1969, vrt. myös Pricking . . . 1968).

Lähinnä USA:ssa on kehitetty koulintamenetelmää, jossa taimipaakku muotoillaan erityisessä kehikossa valmiiksi taivutetun pahvin, mieluimmin tervapaperin varaan. Tällöin työvaiheet ovat seuraavat: 1) valmiiksi taivutettu tervapaperi asetetaan muotin pohjalle, 2) muotti täytetään puolilleen, 3) taimi asetetaan paikoilleen, 4) loput maasta lisätään, 5) tervapaperin laidat painetaan päällekkäin ja niitataan sekä 6) taimipakkaus poistetaan muotista ja pannaan taimilaatikkoon. Nämä työvaiheet voi tehdä yksi henkilö yksinkertaisen laitteen avulla. (A simple device . . . 1955, Seedling potting . . . 1959, Methods and . . . 1960). Työ voidaan myös jakaa esim. kuudelle henkilölle, jotka päättömän rullaradan varrella työskennellen suorittavat vain yhden ja saman työvaiheen. Työryhmän koulintasaavutukseksi ilmoitetaan noin 4 000 tainta 8 tunnin työpäivässä (A homemade . . . 1964).

Amerikkalainen Weyerhaeuser Co. on kehittänyt koneen, joka täyttää pahvihylsyjä maalla ja istuttaa niihin siementaimen (Hitt 1971).

Amerikkalaisen Brookin (1962) menetelmässä taimi koulitaan varta vasten tehdyssä muotissa muodostuvan taimen juurien suuntaisen litteähkön maakappaleen sisään. Taimet kasvatetaan lokeroissaan istutusvaiheeseen saakka. Juuripaakun koossapysymistä voidaan edistää sijoittamalla kasvualustaan verkko- tai spiraalikudos.

Mikola (1969) esittelee Australiassa käytettävän koulintatavan, jossa mäntyvanerille tai galvanoidulle peltipalaselle, n. 20 × 18 cm, levitetään maata ja sille asetettu taimi rullataan yhden taimen kääröksi. Vaneritaimi voitiin istuttaa maahan sellaisenaan, mutta galvanoidut levyt kerättiin istutuspaikoilta takaisin käyttöön.

Takagin ja Masudan (1967) keksintöön perustuvaa paper pot-menetelmää, samoin kuin Turusen ja Hallikaisen (1973) kehittämää ensomenetelmää on jonkin verran käytetty myös koulittujen taimien tuottamiseen. Tällöin paper pot-menetelmää sovellettaessa taimi koulitaan turpeella täytettyyn paper pot-kennoon. Ensomenetelmässä muovipintaisen paperipalan toiseen päähän levitetylle kasvuturpeelle koulitaan taimi kasvualustan lappeensuuntaisesti ja paperin toinen pää taitetaan koulinnan peitteeksi. Saatu pakkaus kuumasaumataan kiinni, jolloin muodostuu poikkileikkaukseltaan pisaranmuotoinen juuripaakku.

Nisula (1965) on esittänyt uudenlaisen taimien koulintamenetelmän. Tätä menetelmää on kutsuttu nauha-, turvenauha-, rullataimi- tai Nisula-menetelmäksi. Nimitys *rullataimimenetelmä* lienee käytännössä yleisin. Keksinnölle on tunnusomaista se, että koulittavat taimet asetellaan määrävälein riviin, esim. 15 cm leveän muovikalvon päälle sirotetulle ohuelle turvekerrokselle siten, että juuret joutuvat kasvualustalle tämän lapepinnan suuntaisesti niin, että maanpäälliset osat jäävät juurien suuntaisina nauhan ulkopuolelle. Kun muoviturvenauha taimineen sitten kääritään rullaksi, joutuvat juuret rullan kierteisiin turvekerroksen ja käärimisalustana käytetyn muovikalvon väliin. Kun rulla nostetaan pystyyn, tulevat taimet luonnolliseen kasvuasentoonsa. Noin 20—25 cm läpimittaiseen rullaan voidaan koulia 30—50 tainta. Taimien annetaan kasvatusajan kehittyä rullissa. Vasta istutusvaiheessa ne puretaan yhden taimen käsittäviksi juuripaakuiksi.

Omaperäisen tuotantotekniikan ansiosta rullataimimenetelmällä saadaan aikaan *tasojuuristoisia* taimia, joiden kaikki juuret ovat likipitäen kasvualustana käytetyn turvenauhan lappeensuuntaisia. Paljasjuuristen taimien juuret harottavat kaikkiin suuntiin. Tasojuuristoisia rullataimia käytettäessä lienee mahdollista välttyä sellaisilta juuristojen deformoitumisilmiöiltä, joita esimerkiksi Wibeck (1923) on kuvannut.

Rullataimikeksinnön tutkintavaiheessa eri maiden patenttivirastot ovat esittäneet useita uutuuden esteitä lähitekniikan alueelta. Nauhamaisen kasvualustan osalta on viitattu moniin nurmimaton valmistustapoihin (mm. Allen 1959, Tietz, C. ja Tietz, P. 1959, Watson ym. 1964 ja Ohsol 1966). Nurmimatossa siemenestä itävä ruoho kasvaa kuitenkin maton lapepintaa vastaan kohtisuoraan, vaikkakin nurmimatto siirtokuljetuksen ajaksi voidaan kääriä rullalle. Edelleen on useissa vastaväitteissä viitattu erilaisiin siemennauhakeksintöihin, joissa siemenet liimataan nauhalle tai liimanauhojen väliin yksitellen (esim. Gray, E. ja Gray, D. 1912, Anstey 1946, Schindler 1951, Weston 1957 ja Brant 1965). Tällaiset nauhat, joissa ei ole kasvualustaa, kääritään tavallisesti rullaksi varastointia, kuljetusta ja kätevää maahanpanoa varten. Kääritysissä siemenrullissa

ei siis voi idättää eikä kasvattaa taimia kuten rullataimimenetelmän mukaisissa turverullissa. Sekä nurmimatto että siemennauhat eroavat tekniseltä ratkaisultaan täysin rullataimimenetelmästä.

Vastaväitteiden yhteydessä on myös tuotu esille Wedgenin (1965) keksintö, jossa lieriömäinen kasvupakkaus muodostuu mieluimmin revitystä sanomalehtipaperista tehdystä levystä, jonka alapinnalla on luja paperiarkki ja yläpinnalla imupaperia. Elävä kasvi esim. ruusu sijoitetaan imupaperin päälle ja pakkaus kääritään rullaksi niin, että kasvi jää rullan keskelle. Tällaiset pakkaukset on kuitenkin tarkoitettu vain kasvien elävinä säilyttämiseksi kuljetuksen ja myynnin aikana.

Samoin on viitattu Quillenin ja Billerbeckin (1933) keksintöön, jossa yhden taimen juuriston ympärille kerrallaan pakataan muotissa lähes kuutiomainen juuripaakku. Sen ympärille kääritään paperi ja paketti sijoitetaan laatikkoon kasvatusta varten. Keksinnöllä ei kuitenkaan teknisenä ratkaisuna ole mitään tekemistä rullataimimenetelmän kanssa.

Rullataimimenetelmästä on sen keksimisestä lähtien kirjoitettu monissa yhteyksissä. Kirjoitukset ovat enimmältään olleet artikkelin luonteisia, menetelmää, sen käyttökokemuksia tai lyhyitä kokeita selostavia. Rullataimimenetelmää on selostettu myös eräissä oppikirjoissa (Rusten ja Landmark 1968, Aldhous 1972 ja Dengler 1972). Menetelmäselostuksia ovat antaneet Leskinen (1966), Nisula (1966), Sandvik (1967), Fritsch (1968 a, b), Nisula (1970), Jackson (1971), Brown (1972), Heino (1972), Moen (1972), Nisula (1972 b), Leonard (1972), Lang (1973) ja Novoseltseva (1973). Rullataimien käytöstä saaduista kokemuksista ovat kirjoittaneet mm. Niiranen (1971), Jackson (1971), Kosulic (1972), Low ja Brown (1972), Niiranen (1972 a, b), Mrazek (1972), Sandvik (1972), Froland (1973), Kaveldiget (1973), Muhle (1973), Kohmann (1975) ja Staud (1975). Lyhyitä tutkimustuloksia rullataimista ovat julkaisseet mm. Nisula (1967), Brown ja Low (1969), Low ja Brown (1970, 1971), Valtanen (1972), ja Sandvik (1975) sekä laajemmin Herranen (1970), Pöyhtäri (1970), Appelroth (1972), Nisula (1972 a), Pohtila (1972), Leikola ja Huuri (1974), Pohtila (1974), Turtiainen ja Valtanen (1974), Hokka ja Herranen (1976), Leikola (1976), Pohtila (1977) ja Metsämuuronen ym. (1978).

Latvian Neuvostotasavallassa on Nisulan (1965) menetelmän pohjalta kehitetty ns. Brika-systeemi (Lesoposadotšnij . . . 1974), jossa taimet koulitaan kahden ohuen turvepuristeen väliin, rei'itetyn muovikalvon koossapitämäksi paketiksi, joka on helppo istuttaa sellaisenaan.

Takagin ja Masudan (1967) keksintöön perustuvaa paper pot -menetelmää samoin kuin Turusen ja Hallikaisen (1973) keksinnön mukaista ensomenetelmää on jossain määrin käytetty myös koulittujen taimien tuottamiseen.

2. TUTKIMUSTEHTÄVÄ JA SEN RAJOITTAMINEN

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää rullataimimenetelmän soveltuvuutta taimitarhalle ja metsänviljelyn toimenpideketjuun. Tutkimuksen ulottaminen näin laajalle alueelle on katsottu välttämättömäksi, kun pyritään tarkastelemaan uuden tuotantomenetelmän soveltuvuutta metsänviljelyprosessiin. On luonnollista, että uuden menetelmän tulee mieluiten osoittautua entisten menetelmien veroiseksi tai paremmaksi. Tämän takia uutta menetelmää on pyrittävä vertaamaan johonkin käytössä olevaan ratkaisumalliin. Sellaiseksi tässä tapauksessa on valittu paljasjuurisia taimia käyttävä metsänviljelyn toimenpideketju ja sillä saavutettu viljelytulos.

Yleisesti jokin uusi oivallus tai keksintö saattaa olla teknisesti mielenkiintoinen ja toiminnallisestikin hyvä, mutta se ei kelpaa käyttöön, esimerkiksi kalleutensa, valmistustekniikkansa monimutkaisuuden, vaikeakäyttöisyytensä, huoltovaikeuksiensa tai asianomaiseen toimenpideketjuun sopimattomuutensa johdosta. Näin on varsin usein laita tavanomaisesta teknisestä tasosta huomattavasti poikkeavien keksintöjen. Varsinkin vanhoilla ja traditionaalisilla työaloilla on tehokkaat ja yksinkertaiset työmenetelmät usein kehitetty jo niin pitkälle, että uusien menetelmien on vaikea niitä syrjäyttää.

Rullataimimenetelmän kohdalla tällainen tilanne näytti myös varsin todennäköiseltä. Menetelmähän poikkeaa varsin paljon lähitekniikan keksinnöistä ja tunnetusta taimitarhatekniikasta. Sitä paitsi taimien kasvattaminen ohuessa turvenauhassa sen lappeen suuntaisena oli tavanomaisesta täysin poikkeavaa. Tuntui luonnonvastaiselta ohjata puun taimi kasvamaan tasojuuristoisena. Voitiin täydellä syyllä epäillä, pystyisivätkö tällaiset taimet iän lisääntyessä haarottamaan juuristoaan siten, että ne pysyisivät suurempinakin puina pystyssä ja rungoltaan hyvämuotoisina.

Rullataimimenetelmän keksimisen aikana katsottiin kaikkien uusien tuotanto- ja työmenetelmien ehdottomaksi edellytykseksi työvoiman vähentäminen koneellistamisastetta korottamalla. Näistä näkökohdista käsin oli lähdettävä myös rullataimimenetelmää kehittämään.

Vanhastaan tiedettiin, että kostean kasvuturpeen koneellinen annostelu on vaikeaa turpeen herkän holvautumisen takia. Tämä vaikeus näytti erikoisen suurelta, kun kyseessä oli kostean ja säikeisen kasvuturpeen jakaminen jopa muutaman millimetrin paksuiseksi turvenauhaksi. Turveteollisuuden asiantuntijat pitivät tätä likimain mahdottomana ajatuksena. Se oli kuitenkin rullataimimenetelmän koneellistamisen perusedellytyksiä ja sille oli pyrittävä löytämään ratkaisu.

Toinen yhtä tärkeä perusedellytys oli ohuen, plastisen turvenauhan kääriminen koneellisesti rullaksi. Esimerkkejä tästäkään teknisenä suorituksena ei ollut olemassa. Itse asiassa turpeen nauhoittamismenetelmän kehittäminen ja käärimislaitteiston rakentaminen sisälsivät keksinnöllisen ongelman.

Ajatusrakennelma turvenauhasta ja siitä kääritystä tuotteesta, turverullasta, johon oli kylvetty siemenet tai koulittu taimet, toi mieleen mahdollisuuden soveltaa liukuhihnaperiaatetta rullataimimenetelmän koneelliseen ratkaisumalliin.

Työntekijät voitiin silloin sijoittaa koneellistetun prosessin tiettyihin kohtiin ja kehittyvä tuote voitiin koneellisesti siirtää työntekijältä toiselle. Näin ihmistä tarvittiin tuotantoprosessissa vain niissä tehtävissä, jotka vaativat harkintaa tai olivat vaatimustensa takia ihmistyönä edullisempia. Tuotettua tainta kohden lasketun koneinvestoinnin vähentämiseksi työntekijät sijoitettiin liukuhihnan molemmin puolin, näin kääriytyvät rullat saatiin kaksoisrullina, joiden kummassakin päässä oli siemenet tai koulitut taimet. Tämä tavoite toi mukanaan lisätehtävän, kaksoisrullien leikkaamisen kahtia tai useampaan osaan. Tätä varten oli kehitettävä oma menetelmänsä tai työvaihe oli koneellistettava. Leikatut rullat oli toimitettava sopivalla tavalla taimitarhalle eli oli kehiteltävä sopiva rullien lastaus-, kuljetus- ja purkausjärjestelmä.

Kun kysymys on elävän taimimateriaalin käsittelystä koneellisessa prosessissa ja tuon prosessin rationalisoinnista, ei voida unohtaa niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat taimien menestymiseen kasvatus- ja hoitovaiheessa taimitarhalla. Tämän takia oli välttämätöntä seurata myös rullataimien kasvatusvaihetta, joka antoi viitteitä koneellisen prosessin suunnittelulle tai päinvastoin. Tuotantoprosessin tavoitteena oli se, että taimitarha pystyi lähettämään istutuksia varten mahdollisimman korkealuokkaista taimimateriaalia. Tämän takia päätettiin tuottaa muutamia tyypillisiä rullataimilajeja kuvan saamiseksi tuotettujen taimien biologisista ulottuvaisuuksista. Lisäksi oli syytä pitää silmällä mahdollisuuksia vähentää taimitarhatyön kausiluontoisuutta

Oheisen tutkimuksen tavoitteena oli rullataimimenetelmän pohjalta

— kehittää koneellinen rullataimien tuotantoprosessi ja siinä tarvittavat työmenetelmät, koneet ja laitteet

— selvittää rullataimien kasvatukseen kuuluvia kysymyksiä ja etsiä keinoja taimitarhan kausityön vähentämiseksi

— selvittää rullataimien kuljettamiseen ja istuttamiseen kuuluvia ongelmia ja kysymystä siitä voidaanko rullataimia käyttäen pidentää istutuskautta

— tarkkailla rullataimien menestymistä istutusalueilla ja seurata niiden juuriston kehittymistä

— tehdä päätelmiä rullataimimenetelmän mahdollisuuksista taimitarhalla ja metsänviljelyn toimenpideketjussa.

Mikään taimityyppi tai -laji ei menesty metsänviljelyn toimenpideketjussa, jos sen käyttö jossakin vaiheessa osoittautuu taloudellisesti tai biologisesti jotain toista taimilajia tai taimityyppiä selvästi vaikeammaksi. Tämän takia katsottiin tutkimustehtävään oleellisesti kuuluvan koko metsänviljelyn toimenpideketjun seuranta rullataimia

käytettäessä. Siksi pidettiin tarpeellisena seurata rullataimien kuljetusta taimitarhalta metsään ja niiden varsinaista istuttamista. Tavoitteeksi asetettiin tätä vaihetta helpottavien menettelytapojen ja laiteratkaisujen kehittäminen. Lisäksi katsottiin tarpeelliseksi istutettujen rullataimien menestymisen seuraaminen tekemällä istutuskokeita ja vertailemalla saatuja tuloksia esimerkiksi paljasjuurisilla taimilla suoritettujen istutusten kanssa. Tällöin tuli kiinnittää huomiota myös taimien juuriston kehittymiseen.

Tutkimus suuntautui siis vahvasti käytännöllisiin tavoitteisiin. Sekä taimitarhatyöt että metsänviljelyn toimenpideketju oli suunniteltava ja kehitettävä järkevyysperiaatteen mukaisesti siten, että kaikki kehitelmät johtaisivat yksinkertaiseen ja toimintavarmaan suoritukseen ja että työ olisi ergonomisesti edullista tai hyväksyttävää. Samoin oli työ rajattava siten, että kehitys- ja tutkimustyön tuloksia voitaisiin taloudellisesti hyödyntää.

Absoluuttisen tiedon hankkimisesta, jota toki on pidettävä kaiken tieteellisen tutkimuksen päämääränä, oli tehtäväkentän laadun ja laajuuden takia luovuttava. Koska oli selvästi kyse rullataimimenetelmää soveltavan taimitarhatekniikan ja metsänviljelyn toimenpideketjun orientoivasta selvittelystä, tutkimuksen oleellisimmaksi tavoitteeksi asetettiin hankkia todennäköistä tietoa, kuten monilla tutkimushaaroilla ja -kysymyksissä on aikaisemmin menetelty uusia alueita tutkimukselle avattaessa.

Tutkimukset on pyritty suuntaamaan siten, että niiden tuloksista voitaisiin tehdä yleisempiäkin kuin kulloisia tutkimuskohteita koskevia päätelmiä ja että tutkimustuloksia voitaisiin käyttää hyväksi muunlaisia taimien tuotantoprosesseja tai metsänviljelyn toimenpideketjuja suunniteltaessa. Tämän takia on analysoitu työnmenekkiä ja pyritty luomaan järjestelmä, jossa taimituotannon ja metsänviljelyn toimenpideketjun kustannustasoa voitaisiin laskennallisesti seurata.

Koska tutkimuksen tehtäväalue on käynyt verrattain laajaksi, on sen kiinteyden ja yhtenäisyyden säilyttämiseksi tarkastelu rajattu koskemaan vain *koulittuja rullataimia* ja niistä vain *mäntyä*. Muut puulajit koulitaan ja viljellään likimain samalla tavalla.

3. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

Tutkimus perustuu tehtyihin kokeisiin ja mittauksiin. Kone- ja laitekehittelyissä sekä toimenpideketjujen koostamisessa on systemaattinen kokeilu ollut tutkimuksen oleellinen osa. Vasta kun kokeilu on johtanut tyydyttävään tulokseen, on suoritettu mittauksia. Monessa tapauksessa mitatusta aineistosta on ollut hyötyä vain eräänlaisena välivaiheena, sillä myöhemmin on löydetty edullisempia ratkaisumalleja.

Uusi innovaatio tai keksintö lähtee yleensä liikkeelle tutkijan mielessä kehittyvistä erilaisista ratkaisumalleista, hypoteeseista, jotka on realisoitava tavalla tai toisella kokeilemalla. Kokeellinen tieto on yleensä aina muutettavissa mitatuksi tiedoksi. Tältä pohjalta voidaan kokeiltu hypoteesi joko hyväksyä tai hylätä. Usein kuuluu asiaan, että joudutaan tekemään lisähypoteesejä tai yrittämään ratkaisua kokonaan uudelleen rakennetun olettamuksen pohjalta. Tällä tavalla on jouduttu menettelemään rullataimimenetelmässä käytettäväksi hyväksyttyjä koneita, laitteita tai toimenpideketjuja koostettaessa.

Kehittelytyö on dynaamisesti etenevää. Tullakseen hyväksytyksi parannuksen on aina oltava asiaa edistävä, mutta vain harvoin se voi olla lopullinen. Ratkaisumallia hyväksyttäessä on lisäksi otettava huomioon, onko saavutettu tulos käyttökelpoinen toisissakin olosuhteissa ja toisenlaisia työntekijöitä käytettäessä. Tämä tekee tehdyt mittaukset tietyllä tavalla tulkinnanvaraisiksi. Aineistojen analysointi ja niiden kuvaaminen tarkemmin kuin keskiarvojen avulla johtaa helposti aineiston laadun ja luotettavuuden ylikorostamiseen. Tämän takia tässä tutkimuksessa on yleensä tyydytty esittämään vain keskiarvot. Mikäli on ollut mahdollista, ne on sijoitettu graafisesti kuvattavaksi sarjaksi sekä tuotu samassa yhteydessä esille muiden tutkimusten antamia tuloksia.

Nimenomaan taimien kuljetusmenetelmä riippuu hyvin ratkaisevasti siitä, millaista kuljetuskalustoa on käytettävissä ja minkälaisille paikoille taimia on kuljetettava. Tämän takia kuljetukseen ei ole puututtu omien kokeilujen yhteydessä juuri muuten kuin esimerkein. Sen sijaan on pyritty luomaan laskennallinen malli, jonka mukaan taimien kuljetuskustannukset voitaisiin eri tapauksissa laskea.

Kaikki mittaustulokset on pyritty saamaan olosuhteista ja työstä, jossa kehitettyä menetelmää on sovellettu käytännön mittakaavaiseen toimintaan. Työntekijät ovat aina olleet ammattitaitoisia ja kirjoittajan käsityksen mukaan he edustavat myös älykkyydeltään ja joutuisuudeltaan suunnilleen keskitasoa. Näin tehdyt mittaukset edustavat sellaista tasoa, jonka jokin toinen keskimääräinen työntekijä tai työryhmä olisi saavuttanut vastaavanlaisissa olosuhteissa.

Vertailuissa on rullatainta yleensä verrattu koulittuun paljasjuuriseen taimeen. Paljasjuurisia taimia nimittäin käytetään yleisimmin, joten niiden kustannustasosta ja metsäviljelyn onnistumisesta on kokemusta ja jossain määrin myös tutkimustuloksia. Lisäksi paljasjuurinen taimi todennäköisesti säilyttää vielä pitkään asemansa kevät- ja syysistutuksissa. Sen sijaan kaivataan taimilajia, jota käytettäessä paljasjuurisen taimen istutusaikaa voitaisiin jatkaa keskikesää kohden. Tässä mielessä on tarkkailtu koulittua rullatainta, eli missä määrin sitä käyttäen voidaan taimien istutusaikaa pidentää ja miten paljon lähempänä keskikesää istutetut rullataimet menestyvät yhtä hyvin kuin keväällä istutetut paljasjuuriset taimet.

Mittayksikköjärjestelmän suureina ja yksikköinä on käytetty SI-järjestelmää (SI-järjestelmä . . . 1976), paitsi ajanmenekin yksikkönä cmin (= 0,01 min). Kaikki verraten vanhatkin ajanmenekkiä

kuvaavat aineistot on nimittäin koottu ja laskettu tätä yksikköä käyttäen, mikä on ollut työtieteessä aikaisemmin yleinen tapa.

Rullataimimenetelmän kelpoisuuden tarkastelu koko sen käyttöalueella taimitarhalta metsään on vaatinut tuekseen aineistoja, joita on kehittelytyön aikana kertynyt runsaasti. Näiden esittelyn on katsottu käyvän parhaiten päinsä tulosten selostamisen yhteydessä. Kuvassa 1 esitetään ne taimitarhat, joilla tai joilta käsin kehittelytyötä on tehty. Samalla esitetään niiden istutusalueiden maantieteellinen sijainti, joilta on saatu tietoja tai joilla on suoritettu metsänviljelykokeita.

Selitys — *Legend:*

Menetelmän kehittelytaimitarhat
The nurseries where the method was developed

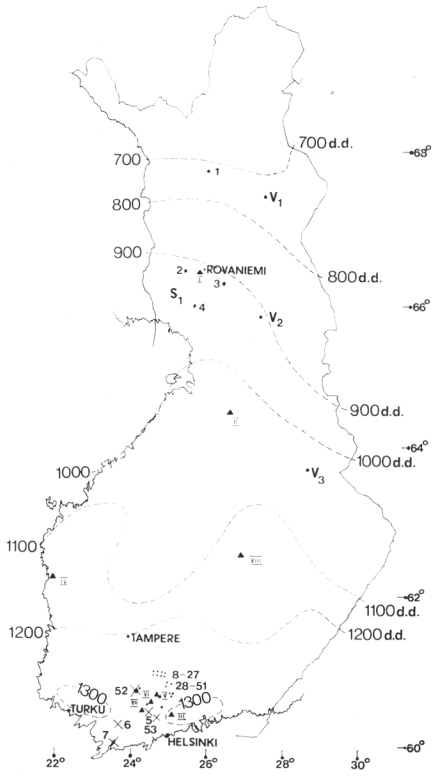
I Imari
II Nuojua
III Järvenpää
IV Lappfjärd
V Kormu
VI Haapastensyrjä
VII Röykkä
VIII Suonenjoki

Omat istutukset — Own plantations

A 1 Petäjäselkä (290)
2 Ahmakuusikko (160)
3 Kuohunki (130)
4 Arppee (110)
D 5 Hiiskula (120)
6 Arpalahti (95)
7 Ekerö (15)
E 8—27 Kormusta käsin suoritetut istutukset (120—140)
F 28—51 *Plantations consisting of plants from Kormu nursery (120—140)*
G 52 Eerola (120—140)
53 Hiiskula (120—140)

Muiden istutukset
Plantations established by other researchers

Valtanen (1973)
V_1 Savukoski (210)
V_2 Pudasjärvi (260)
V_3 Valtimo (200)
Solin (1970)
S_1 Lapin piirimetsälautakunnan alueen eteläosa
Southern part of Lapland District Forestry Board



Kuva 1. Taimitarhojen ja istutusalueiden sijainti. Sulkeissa olevat luvut ilmoittavat istutusalueen sijaintikorkeuden (m) merenpinnasta. Omat istutukset eritelty taulukossa 20, s. 76.

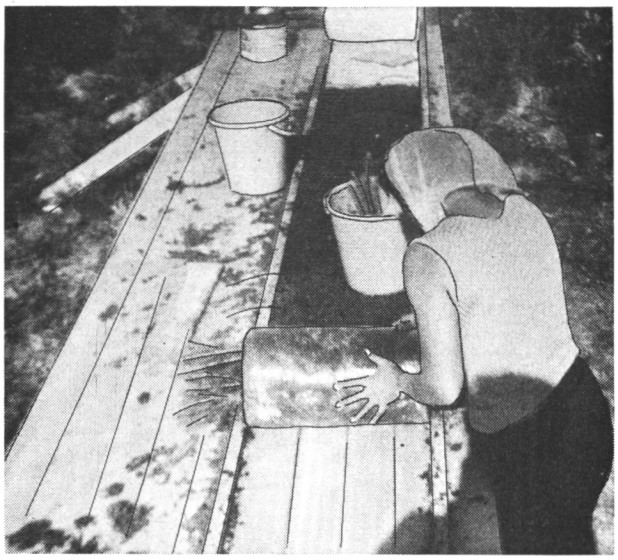
Fig. 1. Map showing location of the nurseries and plantations. Figures in brackets indicate the altitude in metres. Own planatations tabulated on Table 20, p. 76.

4. RULLATAIMIEN TUOTTAMINEN

Koulittavat rullataimet tuotettiin menetelmän alkuaikoina muovihuoneessa, josta saatiinkin sopivan kokoisia taimia yhdessä kesässä. Rullataimiksi koulinta suoritettiin sitten joko syksyllä tai seuraavana keväänä suoraan talvivarastosta tai sulaneesta taimipenkistä. Jo lyhyiden käyttökokemusten jälkeen havaittiin, että muovihuoneessa kasvatetut koulittavat taimet voivat venähtää liian pitkiksi. Siksi rullataimikoulintaa varten on pyritty tuottamaan tanakahkoa, esim. noin 10 cm pituista tainta. Myöhemmin koulintamateriaalin kasvatusta on kokeiltu myös avomaalla.

Kun koneellista rullataimien koulintamenetelmää ei vielä ollut, käytettiin ns. käsinkäärintää. Työryhmässä oli usein kaksi henkilöä, mutta yksikin voi selviytyä työstä. Ensimmäiset rullataimet tuotettiin käsin käärien.

Rullataimien käsinkäärinnässä (kuva 2) tarvitaan työskentelypöytä, joka on avatun rullan pituinen. Pöydässä on noin 10—25 cm:n etäisyydellä reunasta pöydän syrjän suuntainen rima ja siitä sopivalla etäisyydellä toinen samansuuntainen rima. Rimojen korkeus oli vähän haluttua turvekerrosta



Kuva 2. Rullataimien käsinkäärintä.
Fig. 2. Hand-rolling of roll plants.

paksumpi, noin 1,5 cm. Jos koulintaa suoritetaan vain toiselle puolelle turvenauhaa, niin rimojen etäisyys voi olla 15 cm. Jos koulinta on molemminpuolista, mikä on edullisempaa, rimojen etäisyys on kaksinkertainen eli 30 cm.

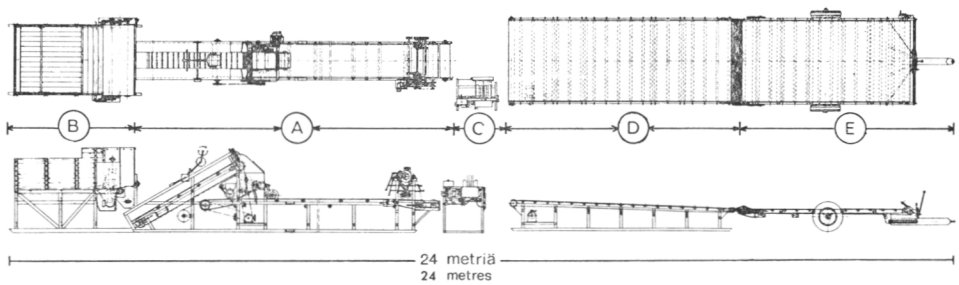
Työvaiheet ovat seuraavat: Rimojen väliin levitetään suoraan rullasta ensin muovikalvo. Tämän jälkeen kalvolle sirotellaan lannoitettu kasvuturve, joka tasataan rimojen väliin. Näin muodostuneelle turvenauhalle asetetaan koulittavat taimet sopiville etäisyyksille toisistaan molemmin puolin nauhaa siten, että juuristo lepää tyveä myöten turvenauhalla ja maanpäällinen osa, verso, syrjäriman poikki pöydällä. Taimet voidaan koulia nauhalle esimerkiksi 15 cm:n välein. Sitten muovi-turvenauha taimineen kääritään rullaksi ja taimien versot jäävät rullan ulkopuolelle. Rulla sidotaan tai liimataan kiinni ja katkaistaan keskeltä käsisahalla tai terävällä veitsellä. Rullanpuoliskot nostetaan pystyyn ja siirretään hoitopaikalle.

Rullataimien käärintä käsin ei vaadi yrittäjältä suuria investointeja. Sen sijaan ihmistyön suuri osuus saattaa nostaa tuotantokustannuksia. Käsinkäärinnästä ei ole koottu tutkimusaineistoa. Kuitenkin vuonna 1967—1968 Järvenpään Metsätaimi Ky tarjosi kokemustensa perusteella käsinkäärittyjä männyn rullataimia samaan hintaan kuin avomaalta myytäviä 1 + 1 -vuotiaita taimia. Taimitarhan omistaja katsoi kummastakin taimilajista jäävän taimitarhalle katetta suunnilleen saman verran (Grenman suull. 1967).

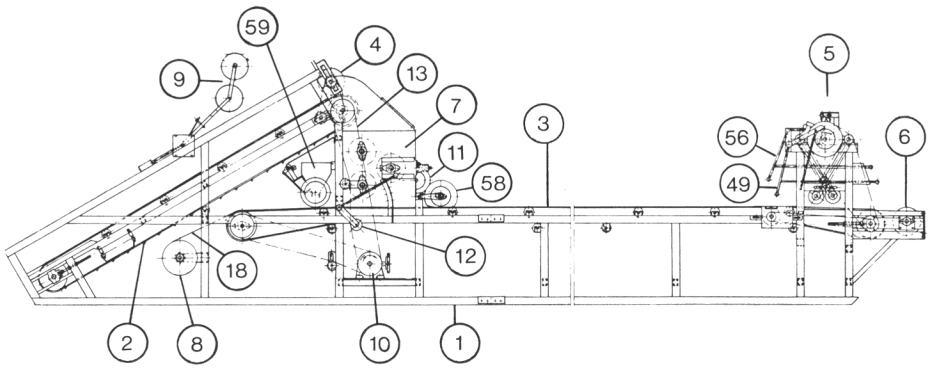
41. Tuotantokoneikon kehittäminen

Kuvassa 3 nähdään rullataimien tuotantokoneikon kaavio. Sen keskeisimmän osan muodostaa rullakone (A), jossa itse koulimistyö ja taimien rullaan kääriminen tapahtuu. Rullakoneen eteen on sijoitettu turvekone (B), joka annostelee tuotannossa tarvittavan kasvuturpeen. Rullakoneen toisessa päässä on kaksoisrullien katkaisukone (C), jonka jälkeen rullanpuoliskot siirretään hihnapohjaiselle lastaussillalle (D). Koneikko päättyy hihnalavaiseen kuljetusvaunuun (E), jolla traktori siirtää taimirullat hoitopaikalle.

Esitetyn konelinjan pituus on 24 metriä. Kuljetustraktori tulee varustaa etukuormaajalla. Traktori kuljettaa rullat kentälle ja käy välillä lisäämässä kasvuturvetta turvekoneeseen. Kuvassa 3 näkyvä koneikko on sijoitettu 25 × 5 m suuruiseen maapohjaiseen, kevytrakenteiseen halliin. Turvevarasto sijaitsee konehallin turvekoneen puoleisessa päädyssä.



Kuva 3. Rullataimien koulintakoneikko päällys- ja sivukuvantona.
Fig. 3. Lay-out of transplanting system, top and side views.



Kuva 4. Rullakone sivukuvantona.
Fig. 4. Transplanting machine, side view.

Rullakone

Kuvassa 4 esitetyn rullakoneen tehtävänä on koneellisesti valmistaa 34 cm leveää ja 0,4—1,0 cm paksua turvenauhaa, joka aluskerroksena käytetyn samanlevyisen muovikalvon varassa kääritään 20—30 cm läpimittaiseksi rullaksi.

Rullakoneella on mahdollista kylvää tai koulia taimia. Koulinta tapahtuu koneen sirottelukotelon ja rullauslaitteiston välisellä koulintahihnan osalla. Kylvöä varten koneeseen voidaan asentaa kylvölaitteet.

Rullakoneen runko (1) on koottu 60 × 60 × 2 mm:n neliöputkesta. Runko kannattaa kahta päätöntä hihnaa: viistoon ylöspäin asennettua turpeen nostohihnaa (2) ja vaakasuoraa koulintahihnaa (3). Nostohihnan yläpäässä on turvenauhan paksuuden säätöä varten rivoilla varustettu jakorumpu (4). Koulintahihnan menopäässä on rullauslaitteisto (5) ja pääterumpu (6). Nosto- ja koulintahihnan välissä on riparummuilla varustettu turpeen sirottelukotelo (7). Rullalla oleva muovikelmu (18) purkautuu koulintahihnalle pitokelalta (8). Uimurilaitteisto (9) käynnistää tarvittaessa turvekoneen.

Rullakoneessa on kaksi sähkömoottoria. Toinen, portaattomalla vaihteella varustettu päämoottori (10) kuljettaa liukuhihnoja (2 ja 3) sekä pyörittää rullauslaitteistoa (5), pääterumpua (6) ja jakorumpua (4). Päämoottorin käynnistyttyä koulintahihna, rullauslaitteisto ja pääterumpu lähtevät saman tien liikkeelle. Turpeen nostohihna (2) ja jakorumpu (4) voidaan sen sijaan kytkeä päälle tai vapauttaa siitä kitkakytkimellä (12), joka säätää päämoottoria (10) ja nostohihnaa (2) yhdistävän kiilahihnan (13) vetokireyttä. Apumoottori (11) pyörittää sirottelukotelon riparumpuja.

Rullakoulinnassa käytetään kasvuturvetta, jonka tärkeimmät ominaisuudet ovat kuohkeus, ilmavuus, suuri vedenpidätyskyky ja kyky varastoida lannoitteita. Vähän lahonnut kasvuturve muodostuu ehjistä lehti- ja runkorangoista. Aines on muodoltaan kuituista ja aggregaattina muodostaa irrallisen

huokoisen rakenteen. Pidemmällekin edenneessä hajoamistilassa kasvuturve on koostumukseltaan epähomogeenista. Tästä syystä kasvuturpeen koneellisessa käsittelyssä on käytettävä laitteita, jotka soveltuvat säikeisen ja kostean kasvualustaraaka-aineen käsittelyyn.

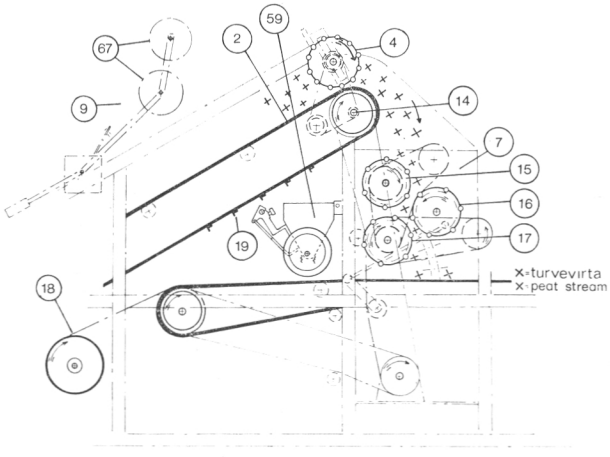
Rullakonetta kehitettäessä ongelmana oli levittää kasvuturve 34 cm leveäksi ja tasapaksuksi turvenauhaksi samanlevyisen muovikelmun päälle. Laitteita tai laitteistoa tällaista tehtävää varten ei ollut olemassa, minkä takia ne oli rakennettava.

Yksinkertaisinta oli turpeen nauhaaminen säädettävän poikittaiskaavarin avulla. Tällöin kuitenkin kaikki turpeen epätasaisuudet, jotka olivat nostohihnan ja kaavarin muodostamaa rakoa suuremmat, ajautuivat aina vähitellen nauhoitusaukkoon ja tukkivat sen. Imarin taimitarhalla yritettiin parantaa tilannetta siten, että asetettiin kaavari lyhyeen edestakaiseen liikkeeseen, jolloin sen ja nostohihnan välinen aukko vuoronperään suureni ja pieneni. Tämä ratkaisu vähensi jonkun verran tukkeutumista, mutta ei poistanut ongelmaa.

Sopiva turpeen nauhaamistapa löydettiin korvaamalla kaavari pyörivällä jakorummulla (4), kuva 5. Se on harvalla poikkirivoituksella varustettu 32 cm läpimittainen riparumpu, joka pyörii samaan suuntaan kuin nostohihnan vetoakseli (14). Jakorummun pyörimisnopeus on kolmannes vetoakselin kiertonopeudesta.

Nostohihna (2) on varustettu pellistä taivutetuilla 15 cm:n päässä toisistaan olevilla nostorivoilla (19), joiden pystyt etusärmät ulottuvat 2 cm:n korkeuteen hihnan pinnasta. Särmät ryystävät mukaansa nostohihnalla (2) olevaa turvetta ja vetävät sitä jakorummun (4) alitse sirottelukoteloon (7). Tällä tavalla nostohihnalla oleva turve vähitellen nauhoittuu. Turvenauhan paksuus on säädettävissä jakorumpua nostamalla tai laskemalla.

Kun jakorumpu (4) pyörii samaan suuntaan kuin nostohihnan vetoakseli, nostohihna (2) ja jakorummun kehä liikkuvat turpeen nauhoitusaukossa vastakkaisiin suuntiin. Tämän vuoksi jakorumpu jatkuvasti pyyhkii alapuolellaan liikkuvalta nosto-



Kuva 5. Turpeen nauhoituslaitteisto sivukuvantona.
Fig. 5. Peat feed mechanism, side view.

hihnalta sillä kulkevan ylimääräisen turvekerroksen takaisin ja päästää alitseen vain rakosäätöä vastaavan määrän turvetta. Turpeen liikerataa vasten pyöriessään riparumpu koko ajan samalla puhdistaa nauhoitusaukkoa turpeen mukana olevista epätasaisuuksista, kuten turvemöykyistä, säijetuppaista tai puunpalasista, jotka nousevat turvekasan pinnalle jakorummun eteen. Nostohihnan ja jakorummun liikeyhdistelmän takia jakorummun edessä oleva turvekasa joutuu hitaaseen akanvirran tapaiseen pyörimisliikkeeseen, minkä vuoksi epätasaisuudet joutuvat uudestaan nostohihnan ripojen ryystettäväksi ja voivat toisinaan jo seuraavalla kerralla mahtua jakorummun alitse sirottelukoteloon.

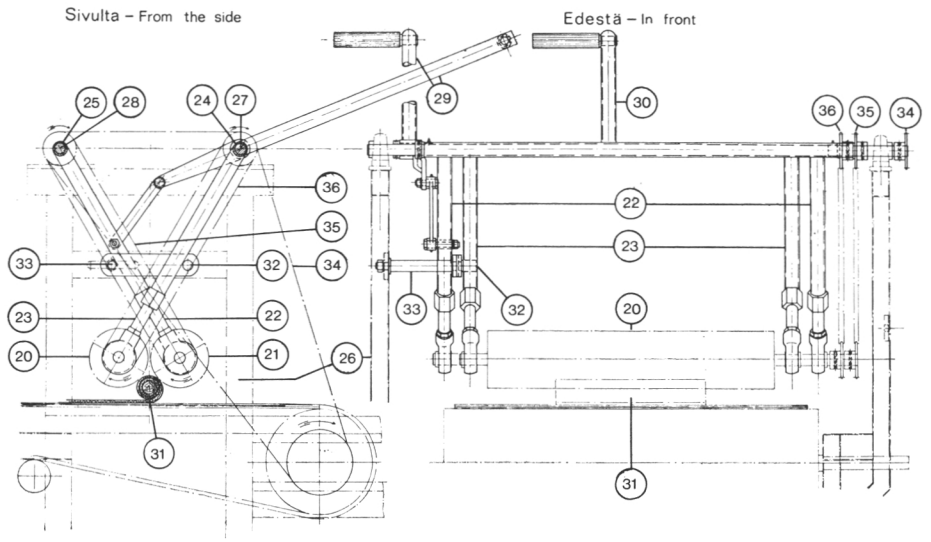
Kokein on voitu todeta, että jyrsinturve- ja turvepehkumenetelmällä tuotettu kasvuturve nauhoittuu häiriöittä. Vain silloin kun kasvuturpeen joukossa on ollut kovia kokkareita tai runsaasti puunkappaleita, on tarvittu ihmistä valvomaan nauhoitusaukon toimintaa. Jos puupitoista tai kokkareista turvetta joudutaan käyttämään jatkuvasti, on kasvuturve parasta seuloa ennen käyttöä tai viimeistään siinä vaiheessa, kun se joutuu nostohihnalle. Eräissä rullakonekokeiluissa on tämän takia käytetty nostohihnan päällä kiinteää ja sittemmin epäkeskolla täristettävää seulaa, joka on saanut käyttövoimansa sirottelurumpujen (15—17) käyttömoottorista.

Jakorummun (4) jälkeen kasvuturve on nauhamaisena, mutta sen siirtäminen sellaisenaan suoraan nostohihnalta muovikalvolle (18) ei ole mahdollista. Jos näin tehtäisiin, niin alunperin säännöllinen turvenauha irtautuessaan nostohihnalta (2), putoaisi alla kulkevalle muovinauhalle lähes pystysuoraan epäsäännöllisinä repeytymäkokkareina. Tämän haitan poistamiseksi on päädytty sirottelukoteloratkaisuun.

Sirottelukotelossa pystysuoraan putoava turvenauha hajoitetaan riparakenteisten sirottelurumpujen (15, 16, 17) avulla koko kotelon poikkileikkauspinta-alalle putoavaksi kasvuturvesateeksi, joka tällaisena putoaa koulintahihnalla kulkevalle muovikalvolle. Prosessin seurauksena muovikalvolle muodostuu tasainen turvenauha. Asettamalla muovikalvo kulkemaan täsmälleen sirottelukotelon alla, purkaantumisaukon levyisenä, saadaan turvenauhakin täsmälleen muovikalvon levyiseksi. Riparumpujen pyörimisnopeudet turvevirran suunnassa hidastuvat rummulta toiselle seuraavasti: 3,7—2,7—1,9 r/s.

Koulintahihnalta muoviturvenauha voidaan luonnollisesti kääriä käsinkin rullaksi, mutta rulla jää löysäksi ja epäsäännölliseksi. Tällaista käärintää varten jouduttaisiin koulijoiden avuksi palkkaamaan erikseen työntekijä ja koneen nopeus pysyisi alhaisena. Jo ensimmäisessä prototyyppikoneessa ongelmaan yritettiin löytää koneellinen ratkaisu. Valmista tai esimerkiksi kelpaavaa ratkaisua ei ollut käytettävissä, joskin selluloosa- ja puuhioketehtaissa sekä paperirullien valmistuksessa on käytetty käärimislaitteistoja. Nämä eivät kuitenkaan sovellu muoviturvenauhan käärimiseen (vrt. Nebrich 1930 ja 1931, Isaksen 1954 ja Kiesel 1957).

Ongelmaa tutkittiin analysoimalla rullan kääriytymistapahtumaa. Tällöin todettiin, että käsintehdyn esirullauksen jälkeen oli mahdollista antaa rullauksen jatkua koneellisesti koulintahihnan menopäähän suunnitellussa rullauslaitteistossa. Kun kääriytymisen aikana koulintahihnan varassa kasvavan rullan kehänopeus voitiin pitää koulintahihnan etenemisnopeuden suuruisena, rulla pysyi vaivatta paikallaan ja kää-



Kuva 6. Käyttövivuista (29 ja 30) hoidettava rullauslaitteisto.
Fig. 6. Rolling mechanism operated by levers (29 and 30).

riytyi tasaisesti rullauslaitteistossa. Teknisesti tämä voitiin toteuttaa kahden pyörivän painotelan avulla siten, että telat pudotettiin koulintahihnalle pyörimään pysäytetyn rullan kummallekin puolelle niin, että telat painoivat rullaa sen molemmilta selkäpuolilta yhtä voimakkaasti, mutta pääsivät rullan kasvaessa siirtymään ylöspäin, kääriytyvän rullan suhteen asemansa säilyttäen. Ensimmäinen käyttökelpoinen toteutus käärimislaitteistosta nähdään kaavamaisesti esitettynä kuvassa 6.

K o r f m a n nin ja K u n z en (1949) esitys automaattisesti päättömän hihnan varassa käärinnän suorittavasta laitteistosta, joka on tarkoitettu kattohuopakääröjen valmistukseen, toimii periaatteessa samalla tavalla kuin rullakoneeseen kehitetty käärintälaitteisto. K o r f m a n nin ja K u n z en laitteisto on kuitenkin jatkuvatoiminen, se mittaa, katkaisee, tekee sydäntelattoman rullan ja poistaa valmiin käärön. Se ei sopisi plastisen ja ryhdittömän muoviturvenauhan käärimiseen.

Kuvassa 6 esitetyt nappulakumipäällysteiset painotelat (20 ja 21) on laakeroitu säädettävien, toistensa suhteen ristiin kulkevien vipuvarsiparien (22 ja 23) alapäihin. Yläpäästään vipuvarret kiinnittyvät onttoihin painotelojen kanssa samansuuntaisiin ripustustankoihin (24 ja 25), joita ripustustankojen läpi menevät ja laitteiston runkoon (26) laakeroidut käyttöakselit (27 ja 28) kannattavat. Painoteloja voidaan käsin nostaa tai laskea ripustustankoon hitsattujen käyttövipujen (29 ja 30) avulla. Painotelat pääsevät vapaasti nousemaan käärittävän rullan (31) kasvaessa työn aikana. Vapaakäynnin aikana pysäytystapit (32 ja 33) estävät vastakkain pyöriviä painoteloja vahingoittamasta toisiaan. Painotelat saavat käyttövoimansa ketjuvälityksellä (34, 35 ja 36) koulintahihnan rummulta.

Laitteiston avulla koulintahihnalla liikkuva muoviturvenauha kääriytyy seuraavasti: Muoviturvenauhan menopää kääritään ensin käsin noin 6—8 cm läpimittaiseksi esirullaksi. Painotela (21) lasketaan alimpaan asentoonsa ja odotetaan, kunnes koulintahihna on kuljettanut esirullan sitä vasten. Sen jälkeen painotela (20) päästetään nopeasti alas esirullan selän toiselle puolelle. Tällöin rullaus jatkuu kolmen käärintäelimen, nim. kahden painorullan ja koulintahihnan, varassa. Käärintäpisteissä työnnetään siis rullan vaippapintaa samaan pyörimissuuntaan. Vähän ennen rullan lopettamista koulintahihnalla kulkeva muovikalvo paljastetaan työntämällä sillä olevaa turvetta vastavirtaan noin 40—50 cm:n matkalta. Paljastunut muovinauha viilletään puukolla poikki tulosuunnan puolelta ja muovinauhan menopäähän sipaistaan poikittain liimajuova.

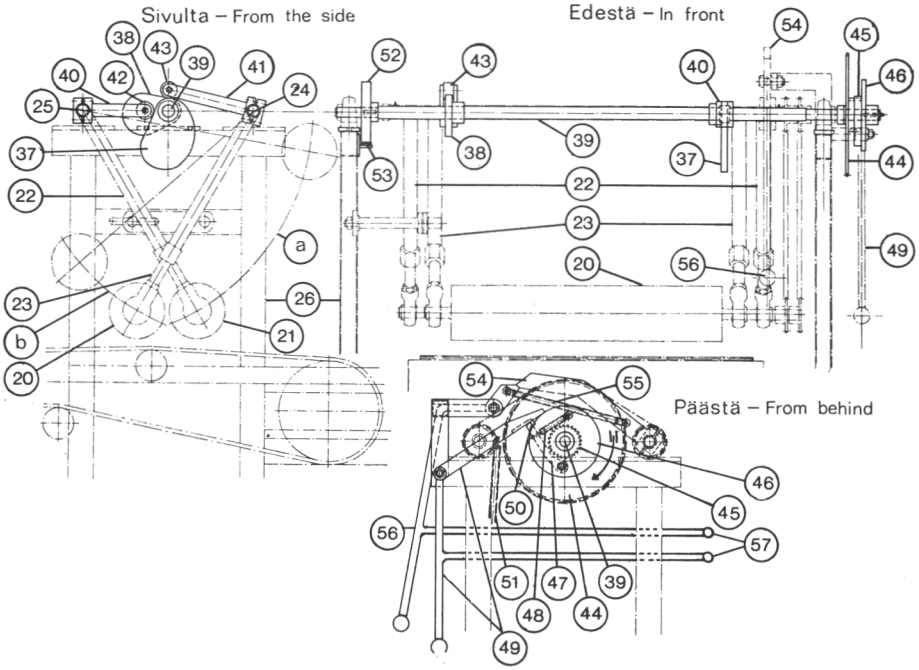
Kun liimajuova joutuu rullan ja koulintahihnan puristukseen, rulla liimautuu kiinni ja on valmis. Tämän jälkeen nostetaan painotelat nopeasti ylös, ja valmis rulla vierii pyörimään koulintahihnan ja pääterummun (6) varaan. Tämän jälkeen painotela (21) on nopeasti laskettava alas vastaanottamaan uutta esirullaa.

Hyvän tuloksen aikaan saamiseksi on painorullien kehänopeuden oltava hieman koulintahihnan nopeutta suurempi. Tällöin muovikalvo sopivasti tiukkaantuu turvenauhaa vasten, mikä parantaa valmistuvan rullan muotoa.

Kuva 7 esittää puoliautomaattista rullauslaitteistoa. Rullauslaitteiston vipuvarsia (22 ja 23) ohjataan pyörivillä epäkeskoilla (37 ja 38), jotka on hitsattu rungon (26) varaan, ripustustankojen (24 ja 25) puoliväliin laakeroituun akseliin (39). Akselin pyöriessä, vipuvarsien (22 ja 23) säädettävien ohjainvarsien (40 ja 41) päissä olevat juoksupyörät (42 ja 43) seuraavat epäkeskojen syrjäpintaa. Tämän johdosta painotela (21) epäkeskon (37) pyörähtäessä nousee ja laskee välillä a, samoin epäkeskon (38) pyörähtäessä puolestaan painotela (20) kulkee edestakaisin matkan b. Epäkeskojen muoto on sovitettu vastaamaan sitä painotelojen liikettä (a ja b), joka tarvitaan valmiin rullan poistamisen ja uuden esirullan vastaanoton yhteydessä. Epäkeskojen tulee pyörähtää vain mainittuna vaihtumishetkenä eli kerran rullaa kohden. Tämän takia puoliautomaattiseen rullauslaitteistoon on sijoitettu apulaitteet, joilla mainittu liike voidaan saada aikaan juuri sillä hetkellä, kun koulittu rulla on tullut valmiiksi ja uuden rullan tekeminen aloitetaan.

Epäkeskojen (37 ja 38) käyttökoneistoon kuuluu oleellisena osana ketjuvetoinen säppipyörästö, joka koostuu kahdesta osasta, suuremmasta ketjupyörästä (44) ja pienemmästä sen kylkeen kiinteästi hitsatusta säppirattaasta (45). Säppipyörästö pyörii vapaasti laakeroituna epäkeskojen käyttöakselilla (39), ellei sitä ole kytketty pyörimään yhdessä käyttöakselin kanssa. Kytkentä voidaan suorittaa käyttöakselin kiinnitettyyn laippaan (46) tappinivelisen säpin (47) avulla.

Kun vetojousella (48) varustettu säppi (47) on kytketty kuvan 7 mukaiseen asentoon, säppipyörästö, laipparakennelma ja epäkeskojen käyttöakseli pyörivät yhdessä. Mutta jos säppi vedetään irti säppirattaasta (45), epäkeskojen käyttöakseli pysähtyy ja vain säppipyörästö (45 ja 46) jatkaa kulkuaan tyhjäkäynnillä.



Kuva 7. Puoliautomaattinen rullauslaitteisto.
Fig. 7. Semiautomatic rolling mechanism.

Säppiä (47) ohjataan käyttövivulla (49), jossa oleva haka (50) sieppaa säpin kiinni tai laskee sen irti säppirattaalle (45). Kuvassa 7 esitetään hetki, jolloin haka (50) on tarttunut säppiin. Tässä vaiheessa säppi jää yläosastaan haan (50) vangitsemaksi ja työntyy pyörinnän vielä vähän matkaa jatkuessa kokonaan irti säppirattaasta (45), jolloin myös epäkeskojen (37 ja 38) liike pysähtyy. Käyttövipuun (49) liittyvä vetojousi (51) pitää säppiä haan (50) välityksellä avatussa asennossa käyttöakselin toiseen päähän kiinnitetyn kitkajarrun (52, 53) avulla.

Kitkajarru muodostuu epäkeskojen (37, 38) mukana pyörivästä lievästi epäkeskeisestä laipasta (52) ja runkoon (26) kiinnitetystä, säädettävästä kitkakengästä (53). Kitkajarru tulee säätää siten, että laipan uloin osa ahtautuu sen ja kitkakengän (53) väliin. Tällöin epäkeskot (37, 38) tahmautuvat kuvan 7 mukaiseen asentoon.

Kun käyttövivusta (49) painetaan, vapautuu haan (50) takana oleva säppi (47), joka tarttuu säppirattaaseen (45). Tällöin epäkeskot (37, 38) lähtevät liikkeelle ja nostavat painotelat (20, 21) ylös. Tässä vaiheessa poistuu valmis rulla rullauslaitteistosta. Mikäli käyttövipu (49) saman tien lasketaan takaisin, asettuu haka (50) vangitsemaan säppiä ja voi pysäyttää epäkeskojen (37, 38) pyörinnän jo yhden pyörähdyksen jälkeen. Näin tapahtuukin käytännössä. Kun painotela (21) on laskeutunut alimpaan asentoonsa, se on valmis vastaanottamaan käsin kääritytyn uuden esirullan. Samanaikaisesti

painotela (20) pysähtyy vähän ennen alinta asentoaan ripustustankoon (24) kiinnitetyn pidätysraudan (54) ja vetojousella (55) varustetun käyttövivun (56) avulla sillä tavalla kuin näkyy kuvasta 7. Toimenpiteen tarkoituksena on pitää painotelaa (20) ylhäällä kunnes esirulla pääsee sen alitse painotelalle (21) saakka. Tämän jälkeen painotela (20) voidaan käyttövivulla (56) pudottaa rullausasentoon esirullan selkään.

Käärintälaitteistoa lähinnä oleva koulija voi käyttövivuilla (49, 56) oman tehtävänsä ohella hoitaa rullauslaitteiston toimintaa. Jos mainittuihin käyttövipuihin asennetaan ohjausvarret (57), rullauslaitteistoa voidaan hallita myös pääterummun (6) puolelta.

Kuvatusta puoliautomaattisesta rullauslaitteistosta voitaisiin edetä täysautomaattiseen ratkaisuun saakka, mutta laitteisto tulisi huomattavasti monimutkaisemmaksi. Silloin voitaisiin automatisoida saman tien turvenauhan katkaiseminen, esirullan tekeminen, muovikalvon poikki viiltäminen ja liimaus. Koulinnassa tällaisella ratkaisulla ei kuitenkaan olisi sanottavaa vaikutusta, koska koulinnan tuotos nousisi vähän ja sen taloudellisuus ehkä vieläkin vähemmän, mutta jouduttaisiin häiriölle herkempään ja kalliimpaan vaihtoehtoon.

Koulinta rullakoneella

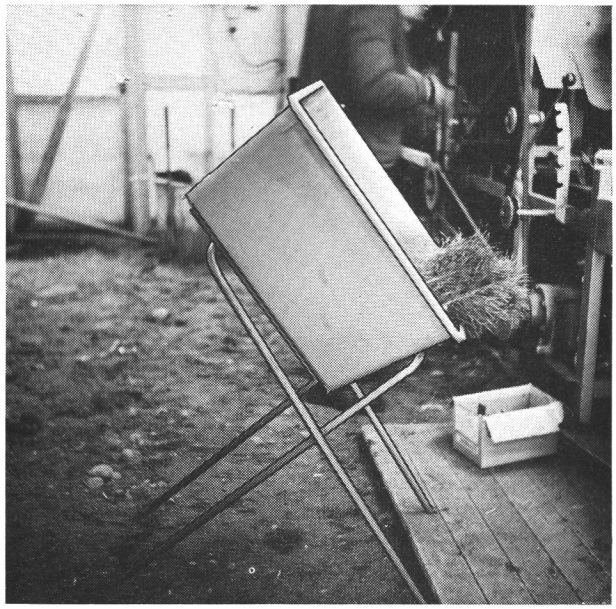
Tasaisen koulintavälin saavuttamiseksi maalataan koulintahihnan (3) kumpaankin reunaan valkoiset poikkijuovat esim. 15 cm:n päähän toisistaan. Näin koulittavat taimet voidaan helposti asettaa oikeille etäisyyksille turvenauhalle.

Koulijat työskentelevät rullakoneella parittain toisiaan vastapäätä molemmin puolin koulintahihnaa (3) sirottelukotelon (7) ja rullauslaitteiston (5) välisellä alueella. Kuvan 4 esittämällä koneella koulittaessa on tavallisesti työskennellyt kahdeksan koulijaa, neljä kummallakin puolen konetta. Tällöin jokaista koulijaa kohden on jäänyt työtilaa noin metrin verran. Koulijat ovat suorittaneet työnsä seisaaltaan.

Taimien käsivarasto on sijoitettu jokaisen koulijan taakse muovilaatikkoon yksinkertaisen putkitelineen varaan (kuva 8). Käsivarastoon tuodut taimet ovat useimmiten valmiiksi lajiteltuja. Koulija kääntyy ottamaan laatikosta käteensä sopivan kokoisen nipun, panee taimet kämmenelleen siten, että niiden juuret osoittavat peukalon ja etusormen välitse koulijasta poispäin, ja koulinta voi alkaa.

Koulinnassa voidaan erottaa seuraavat työvaiheet: 1) taimen irrottaminen kädessä olevasta nipusta, 2) taimen vieminen koulintakohdalle, 3) sen asettaminen merkkijuovalle turvenauhaan ja 4) uuden taimen noutaminen.

Jos neljä koulijaa työskentelee koneen molemmin puolin, asettaa ensimmäinen koulija taimen joka neljännen merkkijuovan kohdalle ja laskee asettamiensa taimien lukumäärän. Toinen, kolmas ja neljäs koulija täyttävät nauhan liukuessa heidän ohitseen tyhjäksi jääneiden merkkijuovien kohdat järjestyksessä vuorollaan. Näin valmistuu vähitellen neljän taimen muodostama koulintalohko. Ensimmäinen koulija laskee, montako neljän taimen muodostamaa koulintalohkoa on sijoitettu turvenauhalle. Koneen toisella puolella olevat koulijat asettavat taimensa samassa järjestyksessä, joten koneessa valmistuu samanaikaisesti kaksi koulintalohkoa, yksi kummallekin puolelle turvenauhaa. Käärittäessä koulittavat taimet sijoittuvat aluksi kaksoisrulliin. Jos halutaan sijoittaa rullaan turvenauhan kummallekin puolelle 40 tainta, ensimmäinen koulija panee turvenauhalle kymmenen tainta jokaisen koulintalohkon alkuun ja muut koulijat täydentävät välit edellä mainitulla tavalla. Tämän jälkeen taimien laskijaa vastapäätä oleva kaavaaja katkaisee turvenauhan siirtämällä turvetta kasaan nauhan levyisellä lastalla turvenauhan tulosuuntaan päin, tällöin alla oleva muovikalvo paljastuu 40—50 cm:n matkalta. Seuraava koulija, leikkaaja, viiltää paljastuneen muovinauhan poikki. Leikkaajaa vastapäätä oleva koulija, käärijä, ryhtyy sitten käsin tekemään esirullaa. Viimeinen koulija, liimaaja, tarpeen tullen koulijaparinsa avustamana, vetää muovinauhan loppupäähän poikittaisen liimajuovan. Näin



Kuva 8. Koulittavien taimien käsivarasto rullakoneen viereen pystytetyssä telineessä.

Fig. 8. Storing basket for plants on a stand at the side of the rolling machine.

taimirulla joudutaan päättämään koulintaan liittyvänä välttämättömänä aputyönä, mikä luonnollisesti vähentää osaltaan koulinnan tuotosta. Se tuonee tosin jonkinlaista vaihtelua muuten ehkä yksitoikkoiseksi muodostuvaan koulintatyöhön.

Jos koulijoita on työssä eri määriä, sovelletaan esitettyä työjärjestystä sen mukaan.

Koulijoiden lisäksi koulintakoneikossa työskentelee rullaaja, jonka paikka on pääterummun (6) takana (kuva 4). Lisäksi tarvitaan työntekijä, joka huolehtii siitä, että nostohihnalla (2) on aina kasvuturvetta turvenauhan tekemiseen. Hänet voidaan korvata turvekoneella ja sitä ohjaavalla uimurilaitteistolla (kuva 3).

Valmiiksi koulitut kaksoisrullat joudutaan katkaisemaan keskeltä kahtia ja rullien puoliskot on kuljetettava hoitopaikalle. Tätä varten tarvitaan kuljetusajoneuvo (kuva 3 E). Ajoneuvon kuljettaja huolehtii samalla koulittavien paljasjuuristen taimien siirrosta nostopaikalta tai kylmävarastosta rullataimien koulintahalliin. Lisäksi koulintakoneikko tarvitsee työnjohtajan, joka samalla korjailee laitteissa ilmenevät pienet häiriöt ja huolehtii siitä, että muovikalvoa ja lannoitetta on saatavilla.

Rullakoneen lisälaitteet

Koska koulintakoneen nostohihnaa (2) ja koulintahihnaa (3) saatetaan venymisen tai runkorakenteiden liikkumisen takia joutua säätämään, jotta ne pysyisivät radallaan, on ne varustettu säätölaakereilla. Samoin on mahdollista kiristää kaikkia kiilahihnoja ja ketjuvälityksiä.

Jotta kuljetushihnat pysyisivät päällä, pääterummut ovat pulleita riparumpuja. Ripojen ansiosta alahihnalle pudonnut turve ei pakkaannu rummun ja kuljetushihnan väliin eikä siis vaikeuta hihnojen säätöä ja pälläpysymistä. Lisäksi alahihna on varustettu kaavarilla. Parhaaksi on osoittautunut V-muotoinen, joka auraa hihnalle joutuneen turpeen hihnan reunoja kohden.

Muovirullan pitokela (8) on sivusuuntaisesti säädettävissä. Näin saadaan muovikalvo purkautumaan toivottua rataa myöten sirottelukotelon (7) alitse, josta se saa päälleen turvepeitteen. Koulintahihnan poikittainen huojunta vaikuttaa vain vaimeasti muovikalvoon eikä siitä ole haittaa koulintatyössä.

Tasaiseksi jyrsittyä kasvuturvetta käytettäessä saadaan myös tasainen ja kuohkea turvenauha. Jos turve on koostumukseltaan heterogeenista, joukossa esimerkiksi saraturpeen tupsuja tms., valmistuu myös turvenauha epätasaisempana. Tällöin on edullista jonkin verran tiivistää saatua turvenauhaa. Se helpottaa taimien koulintaa ja rullausta, sillä taimet pysyvät paremmin paikoillaan. Tiivistystela (58) sijaitsee sirottelukotelon (7) jäljessä ja pyörii vapaasti turvenauhan päällä.

Kovapintaiset tiivistystelat ovat osoittautuneet huonoiksi, sillä kostea turvenauha tarttuilee niiden pintaan ja saa aikaan laikuttaiseksi rikkoutuneen turvenauhan. Telan pinnan jatkuva harjaaminen on parantanut tulosta, mutta ei ole poistanut haittaa. Tiivistystela, jonka kehälle on liimattu n. 5 cm paksu vaahtokumi, on osoittautunut toimintavarmaksi. Tällaisen telan vaahtokumikerros painuu litteäksi turvenauhaa vasten, sen kantava pinta-ala kasvaa ja kehän pyöriessä ylös turvenauhalta kimmahtaa vaahtokumi takaisin suuremmalle pyörintäkehälle. Tässä vaiheessa turve ponnahtaa irti tiivistystelasta, ja turvenauha pysyy ehjänä.

Rullakoulinnassa käytettävä kasvuturve voidaan lannoittaa etukäteen, mutta tällöin tuottaa vaikeuksia kuivan, jauhemaisen lannoitteen ja kostean turpeen sekoittaminen tasaisesti.

Haitta tulee selvänä esille rullakoulinnassa, jossa taimien juuristo koulitaan ohuelle turvenauhalle. Turpeen ja lannoitteen huonon sekoittumisen johdosta voi viereisten taimien lannoiteväkevyys vaihdella nollasta yliannostukseen saakka. Tällöin toiset taimet kärsivät ravinteiden puutetta ja toiset ovat liikaa lannoitettuja.

Oikean lannoitustavan löytäminen oli siis erittäin tärkeätä. Alkuaan käytettiin turpeen peruslannoitteena silloisen Rikkihappo Oy:n valmistamaa seosta, jossa kalia esiintyi vaihtelevan kokoisina hiutaleina ja seos oli raekoostumukseltaan epätasaista. Eräässä vaiheessa lannoite puristettiin levyksi, josta koulintahihnan nopeuden kanssa synkronisoitua syöttönopeutta ja pyörivää teräharjaa käyttäen jyrsittiin lannoitetta alla kulkevalle turvenauhalle. Lopuksi päädyttiin yksinkertaiseen ratkaisuun.

Rikkihappo Oy:n valmistama peruslannoite jauhettiin homogeeniseksi sirotteeksi ja annosteltiin sirottelukotelon (7) edessä olevalla amerikkalaisvalmisteisella Lawn Beaty -merkkisellä, nurmen kylvöön tarkoitetulla rakokylvölaitteella, kuva 9. Myöhemmin Kekkilä Oy alkoi valmistaa rullakoulin-



Kuva 9. Amerikkalainen Lawn Beauty -merkkinen kylvökone lannoitteen sirottelijana koulintahihnalla.

Fig. 9. American Lawn Beauty seeding machine sprinkling fertilizer on the conveyor-belt.

taan sopivaa tasarakeista lannoitetta, jossa peruslannoite oli sekoitettu sopivaan määrään kalkkia (vrt. s. 52). Kekkilän lannoite soveltuu erittäin hyvin jaettavaksi mainitulla levittimellä.

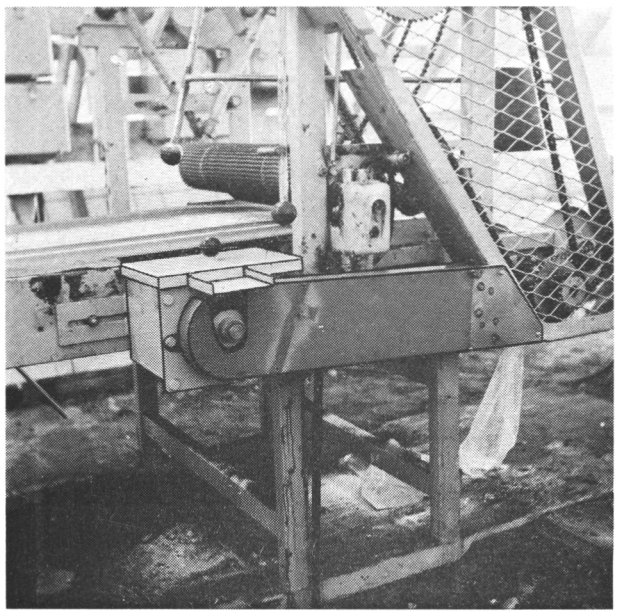
Koulinnan yhteydessä lannoite on parasta sirotella Lawn Beaty -laitteen alla kulkevalle muovikalvolle, joka sirottelukotelon ali mentyään saa peitteekseen kasvuturvenauhan. Lannoite jää tällöin turpeen ja muovikalvon väliin. Tällöin ei koulittu taimi, jonka juuret ovat nostossa tärveltyneet ja joka on muutenkin heikossa tilassa, heti joudu lannoitejauheeseen. Kasviravinteet joutuvat kosketuksiin turvekerroksen suojassa olevan taimen juuriston kanssa vähitellen. Käytännön kokemukset lannoitusmenetelmästä ovat myönteisiä. Jos muovikalvolle sirotellaan liikaa lannoitteita, ei luonnollisestikaan voida välttyä liika-annostuksen haitoista.

Kun Lawn Beaty -lannoittaja pyörii koulintahihnalla vapaasti pyöriensä varassa, se ottaa automaattisesti huomioon rullakoneen nauhanopeuden muutokset.

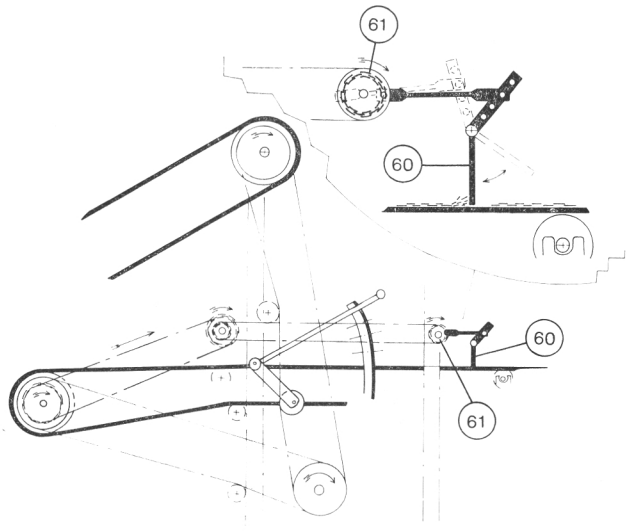
Varmimmaksi rullan päättämistavaksi osoittautui liimaus. Aluksi kokeiltiin narulla köyttämistä, jopa kuumasaumaustakin, mutta viimeksi mainittu osoittautui vaikeaksi, koska saumattavilla pinnoilla oli aina vettä tai turpeesta johtuvia epäpuhtauksia.

Aluksi levitettiin liima 3—5 cm:n levyisellä vanerilastalla suoraan varastoastiasta, joka oli viimeisen koulijan vieressä lattialla. Liiman käytössä oli pieniä hankaluuksia, jonka vuoksi koulintakoneeseen rakennettiin kuvan 10 mukainen liiman annostelulaite. Se saa käyttövoimansa ketjuvedolla koulintahihnan rummulta. Ketju pyörittää annostelijassa makaavaa katkaistua kartiosylinteriä. Tämä ryystää pinnalleen liimaa sopivan kerroksen, josta sitä voidaan sipaista haluttu määrä lastaan tai jäykkäharjaksiseen tasosiveltimeen. Kun kartiosylinteri pyörii koko ajan, liima ei pääse kuivumaan. Käytön väliseksi ajaksi voidaan laite sulkea kannella.

Kun taimet on koulittu rullaan, niiden juuret alkavat kasvaa myös turvenauhan pituussuuntaan, jolloin vierekkäisten taimien juuret kasvavat vähitellen toistensa lomitse ristiin, mikä on epäkohta. Jo menetelmän patenttihakemuksessa (N i s u l a 1965) esitetään erilaisia väliseiniä juurten ristiinkasvamisen välttämiseksi. Käytännössä on myös tehty ratkaisuyrityksiä tähän suuntaan.



Kuva 10. Liiman annostelulaite.
Fig. 10. Glue measuring apparatus.



Kuva 11. Turvenauhan paakuttamislaite sivukuvantona.
Fig. 11. Peat heaping apparatus, side view

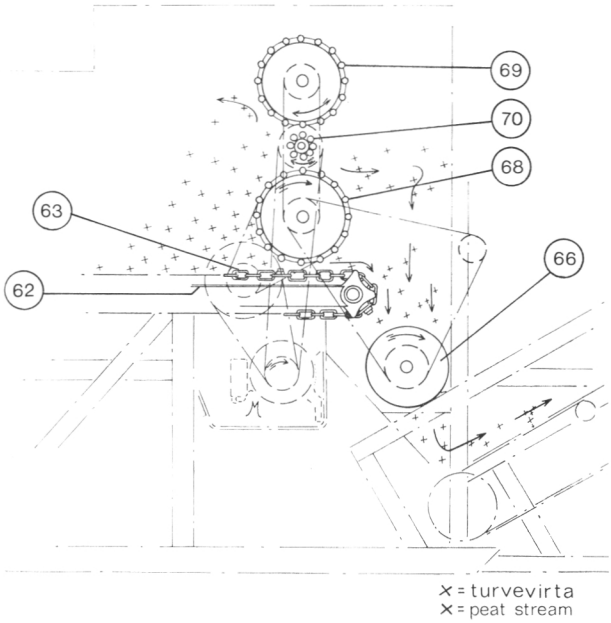
Imarin taimitarhalla v. 1966 rajattiin taimet käsityönä toisistaan poikkileikkaukseltaan 1 × 1 cm paksuisilla vaahtomuovisuikaleilla tai vedettiin taimipaakut pienen matkan päähän toisistaan siten, että puhdasta muovikalvoa paljastui 3—4 cm. Taimirullaa käärittäessä muodostui vaahtomuovisuikaleista väliseinä juurten lomittain kasvettumista vastaan ja niissä rullissa, joissa muovikalvo oli vedetty paljaaksi, paljastunut muovikalvo painui jo kääritytyn rullan osan selkäpuolen muovia vasten ja muodosti ahtautuman kahden vierekkäisen taimen väliin. Kumpikaan menetelmä ei täysin estänyt juurien lomittain kasvettumista. Ne kuitenkin helpottivat taimia irroitettaessa havaitsemaan lomittain menevät juuret ja taimipaakut voitiin repäistä toisistaan erilleen ehjempinä.

Tyydyttävää ja hinnaltaan sopivaa, valmiiksi lokeroitua käärimisalustaa ei ole toistaiseksi löytynyt. Valmiiksi lokeroidun alustanauhan täyttäminen sirottelukotelon alitse tavalliseen tapaan näyttää olevan mahdollista. Tällöin on kuitenkin käytettävä homogeenista, mieluimmin murorakenteista kasvuturvetta.

Käytännössä juurien lomittain kasvamisesta aiheutuvia ongelmia on yritetty välttää joko leikkaamalla taimipaakut irti toisistaan (s. 61), erottamalla ne tai käyttämällä koulinnan yhteydessä paakuttamislaitetta, kuva 11.

Paakuttamislaitteena kokeiltiin ensin pyörivää liipotinta, jossa turvenauhan levyinen kaavari pyöriessään pyyhkäisi muovinauhan turpeesta paljaaksi taimipaakkujen väliltä. Koska kaavarin piti pyörähtää kerran ympäri jokaista paakkua kohden, sen pyörimisnopeuden tuli olla 1,2—2,2 r/s. Tällainen nopeus pöllytti turvetta ja turpeen säikeisyyden takia paakku liukui muovikalvolla kaavarin pyörimissuunnassa. Tulos oli epätyydyttävä.

Parhaaseen tulokseen päästiin kuvassa 11 esitettyä paakuttamislaitetta käyttäen. Laite rakentuu edestakaista liikettä tekevästä kaavarista (60), jota käytetään ketjuvälityksellä koulintahihnan vetorummulta käyttövoimansa saavalla epäkeskolla (61). Epäkesko (61) tekee yhden kierroksen paakkua eli tainta kohden. Epäkesko vaikuttaa kaksivartisen vivun välityksellä kaavariin (60). Kun kaavari liikkuu sirottelukoteloa (7) kohden, se työntää muovikalvolla olevaa turvenauhaa kasaan ja palaa sitten nopeasti takaisin yläasentoon, jolloin muodostunut paakku pääsee kaavarin ali. Liikettä toistaessaan kaavari muodostaa jatkuvasti jokaista tainta varten erillisen turvepaakun, jonka päälle koulittava taimi asetetaan. Turvepaakut voidaan haluttaessa turvenauhan tiivistystelalla (58) esitiivistää.



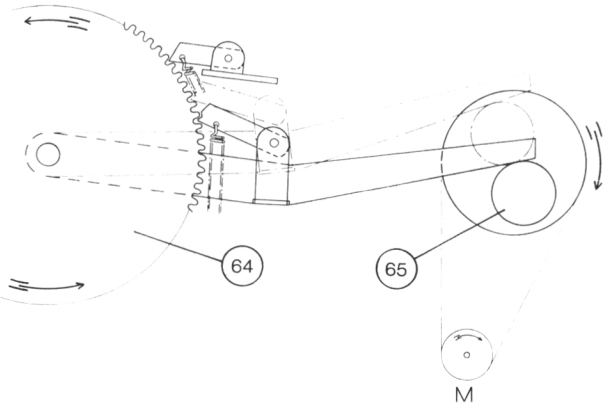
Kuva 12. Turvekoneen annostelulaitteisto sivukuvantona.
Fig. 12. Peat measuring mechanism, side view.

Turvekone

Turvekoneella (kuva 3, B) on tarkoitus korvata turpeen annostelu, joka muuten jouduttaisiin suorittamaan ihmisvoimaisesti. Koulintanopeudesta ja turvenauhan paksuudesta riippuen tulee koulintahihnan nostohihnalle (2) toimittaa työtunnissa 2—4 m^3 turvetta. Kokemus on osoittanut, että mikäli naistyövoimaa joudutaan käyttämään, tehtävään tarvitaan kaksi naista, varsinkin jos turpeessa on epäpuhtauksia, puukappaleita, saratuppaita tms. taikka jos turvetta on talikoitava kauempana olevasta kasasta. Turvekoneella voidaan korvata tämä ihmistyö.

Kuvassa 12 nähdään kaavamaisesti turvekoneen oleellisimmat yksityiskohdat sivukuvantona.

Turvekoneen periaateratkaisuna on maataloudessa käytetyn lannanlevittimen siirtomenetelmä. Koneen laidat on tehty tavallista korkeammiksi ja ne nousevat kohtisuoraan pohjalavasta (62) ylöspäin. Tällöin turve ei voi holvautua seinien varaan, vaan pääsee omalla painollaan vapaasti putoamaan pohjalavalle saakka. Pohjan pituussuunnassa kulkee lavan levyisenä päätön kolaketju (63), joka liikkuu nykäyksittäin vetorattaan (64), kuva 13, käyttämänä ja saa voimansa yksivartiseen vipuun sijoitetun mekanismin välityksellä epäkeskolta (65) periaatteessa aivan samalla tavalla kuin lannanlevittimessäkin.



Kuva 13. Turvekoneen kolaketjun liikuttelumekanismi sivukuvantona.
Fig. 13. Rake-conveyor moving mechanism of peat machine, side view.

Turvekoneeseen kuuluu oleellisena osana koneen levyinen poikittainen kierukkakuljetin (66), joka siirtää kolaketjulta pudonneen turpeen koneen keskilinjalle, mistä se putoaa rullakoneen nostohihnalle (2).

Jos turvekonetta käytetään valmiiksi jyrsityn kasvuturpeen annosteluun, kolaketjun menopäässä tarvitaan vain pystyseinä, jonka alapään ja kolan välissä on säädettävä aukko. Tällöin pystyseinän alapää toimii kaavarina ja päästää alitseen halutun paksuisen turvekerroksen.

Turvekoneen tulee ajaa nostohihnalle (2) turvetta vain tarvittaessa. Tämän takia on kehitetty tilausjärjestelmä, joka toimii uimurilaitteiston (9) avulla, kuvat 4 ja 5. Uimureista kulkee sähköinen käskyjärjestelmä turvekoneen kolaketjun käyttömoottoriin. Kun uimurilaitteisto makaa nostohihnalla (2), on virta päällä ja kolaketju (63) ajaa turvetta kokoojakierukan (66) välityksellä nostohihnalle. Tämä jatkuu siihen saakka, kunnes nostohihnan yläpäähän muodostunut turvekasa nostaa uimurit ylös. Tällöin sähkövirta katkeaa ja turvevirta lakkaa. Tämä toistuu jaksottaisesti niin kauan kuin rullakone pidetään käynnissä.

Uimurilaitteistoon (9) kuuluu kuvan 5 mukaisesti kaksi toisiinsa nähden sopivaan kulmaan asennettua kevyttä lieriöuimuria (67). Nämä on sijoitettu kaksivartiselle vivulle, jonka toisessa päässä on säädettävä vastapaino. Jos käytetään vain yhtä uimuria, niin nostohihnan yläosaan kasaantuva turve estää uimurin toiminnan kaatuessaan uimurilieriön päälle.

Turvekone on suunniteltu monipuolisempaan käyttöön. Kokeilujen aikana havaittiin, miten vaikeaa oli saada sopivaa kasvuturvetta koulintaa ja kylvöä varten. Turve oli joko peräisin liian maatuneesta turvekentästä tai se oli jyrsinturvemenetelmällä nostettaessa jauhautunut liian hienoksi. Vanhalla turvepehkumenetelmällä korjattu kasvuturve todettiin rullakoulintaan ja varsinkin siementai-

mien tuotantoon hyvin soveliaaksi, koska se pitkäsäikeisyytensä ansiosta rullaan jouduttuaan itsestään sitoutui pysyväksi paakuksi. Kun taimen juuret kasvaessaan vielä lisäsivät sidontaa, saatiin hyvin koossa pysyviä juuripaakkuja.

Mainitusta syystä oletettiin, että koulintatyön kuluessa voitiin tarvittava kasvuturve valmistaa suolta tuodusta palaturpeesta tai kuivahtaneista, kaivukoneella nostetuista turvelohkareista. Menetelmää kehitettäessä pyrittiin säilyttämään turpeen säikeinen rakenne mahdollisimman ehjänä.

Turvekoneen lopullinen ratkaisumalli selviää kuvasta 12. Edellä kuvattu pystyseinä on korvattu kolmella päällekkäin sijaitsevalla riparummulla, jotka kaikki pyörivät samansuuntaisesti. Alimman (68) ja ylimmän (69) rummun pyörimisnopeus on 3,3 r/s ja välirummun (70) 16,7 r/s. Rumpujen kehänopeudet suhtautuvat toisiinsa kuten 2: 3: 2. Alimmainen rumpu on mahdollisimman lähellä kolaketjua (63), niin ettei turvetta sanottavasti pääse sen ja kolan välistä suoraan kokoojakierukalle (66). Kaikki riparummut pyörivät myötäpäivään eli ne hylkivät sitä turvekasaa, jota kola työntää niitä vasten. Näiden vastakkaisten liikkeiden seurauksena pääosa rouhitusta turpeesta ajautuu riparumpujen, lähinnä alimman (68) ja välirummun (70) ohitse kokoojakierukalle (66), josta se putoaa rullakoneen nostohihnalle (2).

Riparumpujen pyörimissuunnan takia turpeessa olevat kivet ja puunkappaleet pyrkivät nousemaan turpeen pintaan, josta ylimmäinen rumpu (69) saattaa heittää ne turvekoneen takapäähän. Sieltä ne tietenkin vähitellen kulkeutuvat uudestaan riparummulle, ellei niitä ole sitä ennen poistettu.

Kun kolan nopeus oli 0,007 m/s, saatiin kahden päivän pituisena kokeilujaksona turvekoneen keskimääräiseksi tuotannoksi 8 m^3 jyrsittyä kasvuturvetta tunnissa. Koska turvekoneen kapasiteetista rullakoulinnassa tarvitaan vain 2—4 m^3/h, turvekoneen tuntituotos on ylimitoitettu.

Rullien katkaisulaite

Kun rullakoneessa taimet koulitaan turvenauhalle saadaan, kuten aikaisemmin on todettu kaksipuolisia taimirullia. Rullan kummassakin päässä on sama määrä taimia. Jotta taimet saataisiin normaaliin kasvuasentoon, on kaksoisrullat katkaistava keskeltä. Toimintavarman ja tuotantolinjaan sopivan katkaisumenetelmän kehittäminen kesti kauan.

Aluksi kaksoisrullat sahattiin poikki käsisahalla, mutta menetelmä oli hidas ja terä kului nopeasti. Tämän jälkeen kokeiltiin rullien katkaisemista vesurilla. Kaksoisrulla asetettiin pölkylle poikittain ja voimakkaalla vesurinlyönnillä taimirulla katkesi helposti keskeltä. Leikkausjälki oli hyvä. Menetelmää käytettiin useita vuosia Metsähallinnon Imarin ja Nuojuan taimitarhoilla. Menetelmä vaati kuitenkin työhön kaksi miestä; toinen kuljetti rullat katkaisupölkylle ja siitä ajoneuvoon ja toinen katkaisi rullat vesurilla. Rullausvaiheen jälkeen tarvittiin konehallissa silloin kolme henkilöä, rullauslaitteen hoitaja, rullien kuljettaja ja rullien katkaisija. Tämän takia alettiin kehittää rullien koneellista katkaisemista.

Aluksi yritettiin täysin automaattista katkaisumenetelmää, jossa rullauslaitteistosta irtautunut rulla jatkoi matkaansa koulintahihnan mukana katkaisulaitteistoon.

Vesurista saatujen hyvien kokemusten perusteella yritettiin katkaisua veitsiterällä. Rullauslaitteiston jatkeeksi rakennettiin ensin mekaaninen, sittemmin hydraulisesti toimiva katkaisugiljotiini. Menetelmän kehittäminen keskeytettiin kuitenkin, koska leikkaustulos oli epätyydyttävä varsinkin terien tylsyessä. Kun terän leikkausnopeus oli lisäksi alhainen, rulla ehti painua terän alla, minkä takia rullien turvekierteet ja niissä olevat koulitut taimet saattoivat siirtyä paikaltaan. Rullan katkaiseminen useampaan osaan, mikä saattoi olla välttämätöntä kylvörullia valmistettaessa, ei ollut ollenkaan mahdollista.

Tämän takia alettiin kehittää ketjuterään perustuvaa rullien katkaisumenetelmää. Ketjuterästä oli jo aikaisemmin saatu kokemuksia katkaistaessa moottorisahalla taimirullia, jotka oli toimitettu kaksoisrullina vieraalle taimitarhalle.

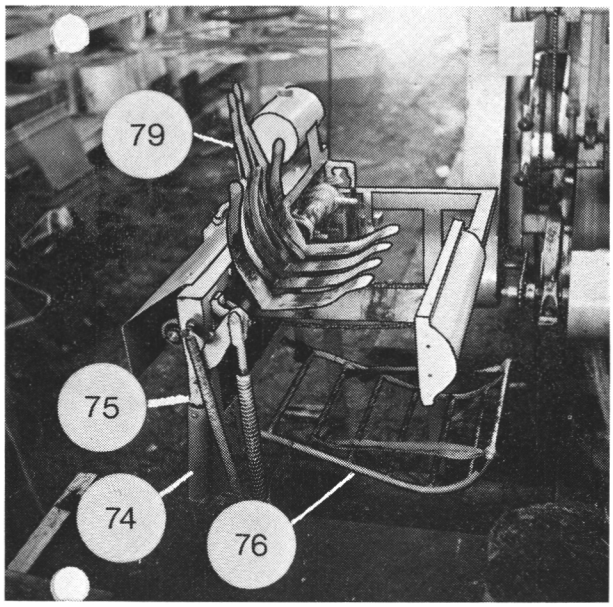
Ketjuterä osoittautui varmaksi työvälineeksi. Monta kertaa turpeen joukossa oli esimerkiksi sitkeitä saratuppaita tai puun kappapeita. Kokeiluissa vain ketjuterä selvisi tehtävästä häiriöittä siitä huolimatta, että rullassa oleva puhdas kasvuturve sinänsä on helposti poikkileikattavissa jopa veitsellä.

Kaksi ketjuterään perustuvaa koelaitteistoa rakennettiin. Itse rullien leikkaaminen oli jo ratkaistu, mutta niiden automaattinen ohjautuminen katkaisuteriin tuotti suuria vaikeuksia, sillä rullauslaitteistosta lähtenyttä rullaa ei pystytty ohjaamaan leikkausterälle saakka tarpeeksi tarkasti. Rullan katkaiseminen esimerkiksi vain 1 cm:n päässä toivotusta kohdasta, aiheutti sen puoliskojen korkeuteen jo 2 cm suuruisen eron. Lisäksi todettiin, että valmistuneita rullia vastaanottamassa tarvittiin joka tapauksessa yksi henkilö. Tämän takia alettiin kehittää ketjuterään perustuvaa rullaajan ohjaamaa laitteistoa.

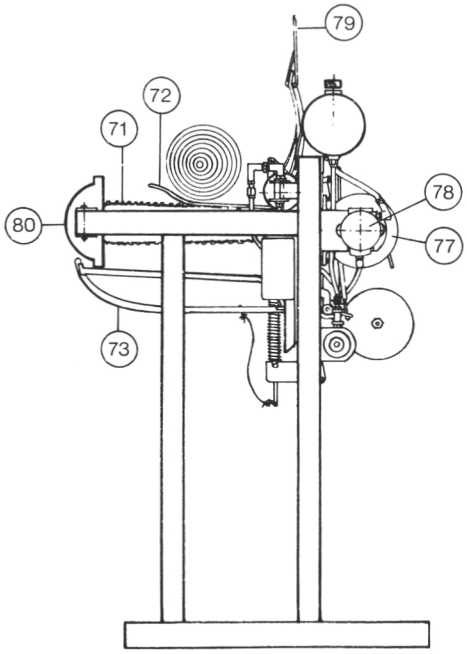
Kuvassa 14 nähdään pitkälle automatisoitu rullien katkaisukone. Se (kuvat 14 ja 15) on sijoitettu rullakoneen ja lastaussillan väliin (kuva 3 C). Katkaisukoneen oleellisin osa on moottorisahan terälaipalle asennettu teräketju (71). Kun rullauslaitteiston hoitaja, joka seisoo rullakoneen ja lastaussillan välissä, nostaa rullakoneesta valmistuneen kaksoisrullan asetteluhaarukkaan (72) irtaantuu se rullan painon vaikutuksesta lukituksestaan, kytkee rajakatkaisijan ja teräketju lähtee käyntiin. Samanaikaisesti kehittää öljypumppu (78) painetta, joka työntää yksitoimisen sylinterin (74) mäntää (75) ulospäin. Tämä vuorostaan vääntää vipuvarren välityksellä asetteluhaarukkaa (72) ja sille pantua rullaa alaspäin katkaisuterää kohden. Liikkeen aikana rulla vähitellen painuu syvemmälle terään. Kun asetteluhaarukka (72) rullineen on kääntynyt yli 90 astetta poikkileikkautuneen rullan puoliskot putoavat luovutushaarukalle (73), joka alas painuessaan katkaisee virran ja teräketjun käyttömoottori (77) ja öljypumppu (78) pysähtyvät. Kun paine sylinterissä (74) lakkaa, palauttavat vieterit (76) asetteluhaarukan (72) takaisin ja lukitsevat sen odotusasentoon. Kun rullaaja tämän jälkeen siirtää katkaistut rullat luovutushaarukasta (73) lastaussillalle, nousee haarukka (73) takaisin yläasentoon.

Katkaisukoneeseen voidaan sijoittaa rinnakkain useampiakin ketjuteriä. Tällöin rulla voidaan sahata useampaan osaan. Jos käytetään kahta terää rinnakkain saadaan sahattaessa kolme 8 cm korkeaa rullaa. Matalia rullia voidaan käyttää esimerkiksi kylvötaimien tuotantoon.

Teräketju on syytä varustaa kärkipyörällisellä laipalla. Lisäksi teräketjun voitelusta on huolehdittava esimerkiksi siten, että ylempänä olevasta säiliöstä harvakseen tippuu öljyä käynnissä olevaan terään.



Kuva 14. Yhdellä ketjuterällä varustettu rullien katkaisukone.
Fig. 14. Roll cutting machine with one chain-blade.



Kuva 15. Rullien katkaisukone sivukuvantona.
Fig. 15. Roll cutting machine, side view.

Rullien poikkisahauksen varmistamiseksi on asetteluhaarukan (72) ylävarsiin sijoitettu kaksi liipotinta, jotka muodostuvat kaksivartisista vivuista (79). Kun rullan poikkisahaus on loppumaisillaan, vastaa liipotinvivun ylävarsi teräsuojaan (80) ja painaa alavarrellaan poikkisahautumassa olevaa rullaa ketjuterän läpi.

Esitetty katkaisukone tehtiin alunperin käsikäyttöiseksi, jolloin ketjuterää kylläkin pyöritettiin sähkömoottorilla, mutta rullan asetteluhaarukka (72) toimi käsivoimaisesti. Kuvissa 14 ja 15 esitetyn sahauslaitteen etuna tähän käsikäyttöiseen verrattuna oli se, että rullan koneeseen nostamisen jälkeen sen poikkisahaus tapahtui automaattisesti, jona aikana työntekijä voi hoitaa muita tehtäviä.

Lastaussilta ja kuljetusvaunu

Katkaisukoneesta rullat siirretään lastaussillalle, kuva 3 (D). Siihen kuuluu 5,5 metriä pitkä ja 2 metriä leveä päätön lavahihna, jota voidaan käyttömoottorin avulla kuljettaa edestakaisin. Lavahihnan nopeus on 0,08 m/s.

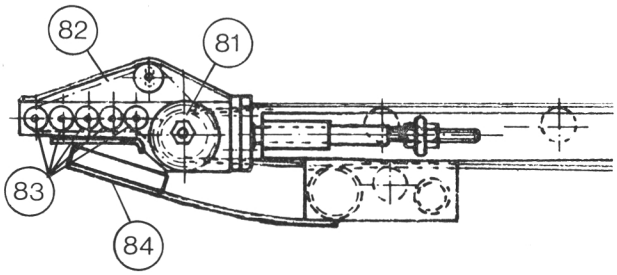
Lastaussillan menopäähän liittyy samanlevyisellä päättömällä hihnalla varustettu rullien kuljetusvaunu (kuva 3 E). Ajoneuvon päätöntä lavahihnaa liikutellaan käsivoimin pyörittämällä.

Lastaussillan ja kuljetusvaunun yhdessä muodostamaa lastauslinjaa käytetään siten, että rullauslaitteiston hoitaja ottaa katkaisukoneen luovutushaarukasta poikkileikatut rullat ja latoo ne lastaussillalle pystyyn. Mikäli lastaussillalla ei ole tarpeeksi latomistilaa, siirtää rullaaja lavahihnaa vähän matkaa eteenpäin. Näin menetellen lastaussilta täyttyy vähitellen vierekkäin asetelluista taimirullista.

Kun kuljetusvaunu ajetaan lastaussillan jatkeeksi, voidaan ryhtyä rullien siirtoon. Tämä tapahtuu siten, että lastaussillan ja kuljetusvaunun lavahihnoja pyöritetään menosuunnassa samalla nopeudella. Tämä tapahtuu siten, että rullauslaitteiston hoitaja käynnistää lastaussillan kuljetuksen ja traktorin kuljettaja pyörittää vastaavalla nopeudella kuljetusvaunun lavahihnaa. Näin rullat siirtyvät lastaussillalta kuljetusvaunuun. Lastaussillalle jääneet ylimääräiset rullat vedetään hihnan varassa takaisin ja rullaaja jatkaa lastaussillan täyttämistä seuraavaan kuljetukseen saakka.

Vaikeudet kuljetusvaunun suunnittelussa ovat liittyneet vaunussa olevien taimirullien koneelliseen purkamiseen. Yksinkertaista on purkaa rullat käsin nostelemalla. Tällöin ne voidaan sijoittaa haluttuun järjestykseen hoitopaikalla. Rullien purkaminen on kuitenkin nopeampaa, jos voidaan suorittaa kuljetusvaunun koneellinen tyhjennys. Monien kokeilujen jälkeen onnistuttiin rakentamaan vaunun peräosa sellaiseksi, että taimirullat pysyivät pudotessaan pystyasennossa ja jäivät kentälle samaan asentoon, mihin ne oli pantu lastausvaiheessa hallilla.

Kuvassa 16 nähdään kuljetusvaunun takaosan rakenne sivukuvantona. Siinä nähdään takapään hihnarummun akselille sovitettu käyttöratas (81), joka ketjun (82) välityksellä pyörittää viittä rinnakkaista, vaunun poikki ulottuvaa ja noin 4 cm paksua onttoa tankoa (83). Ne muodostavat pyörivätelaisen tankoritilän, joka on lavahihnan jatkeena, ja vähentävät vaunun kippausvaiheessa ritilän yli kulkevien rullien maahanputoamiskorkeuden niin pieneksi, että rullat pudotessaan pysyvät pystyssä.



Kuva 16. Rullien kuljetusvaunun peräpään rakenne sivukuvantona.
Fig. 16. Back part of roll transport trailer, side view.

Tankoritilän (83) alapuolelle on vaunun poikki asennettu laahauslevy (84), joka estää vaunun peräosan laskeutumisen kippausvaiheessa liian alas ja joka suojelee ritilätasoa vahingoittumiselta. Samalla se lanaa vaunun alla olevan pehmeän maanpinnan tasaiseksi. Kokeiluvaiheessa yritettiin kuljetusvaunun purkaminen järjestää siten, että traktorinkuljettaja olisi hoitanut sen ohjaamosta käsin. Yrityksistä oli luovuttava, kun havaittiin vaunun purkamisen olevan varminta ja yksinkertaisinta seuraavalla tavalla: Kuljettaja peruuttaa vaunun purkauspaikalle, kytkee traktorin ryömintävaihteelle, nousee pois hytistä, kippaa lavan ja alkaa pyörittää vaunun lavahihnaa rullien purkaussuuntaan. Näin voidaan purkaus tahdistaa siten, että kaikki rullat putoavat kentälle pystyyn ja hyvään järjestykseen. Rullien soluttua lavalta alas, kuljettaja lukitsee vaunun taas kuljetusasentoon ja nousee traktorin hyttiin noutaakseen uuden kuorman.

42. Tuotos

Rullataimien tuotantokoneikko pohjautuu liukuhihna- eli ketjutyön periaatteeseen. Koneet on sijoitettu toisiinsa nähden siten, että valmisteilla oleva tuote siirtyy eteenpäin jatkuvasti tai jaksottain. On pyritty ratkaisuihin, jotka vähentäisivät ihmistyön tarvetta. Ihmistyön osuus on säilytetty työvaiheissa, jotka vaativat valikointia ja harkintaa ja jotka koostuvat useista lyhyistä tai monimutkaisista työliikkeistä.

Kun tavoitteen saavuttamiseksi koulintakoneikkoon liitettiin ensin turvekone, tultiin toimeen kahta vähemmällä työntekijällä. Myöhemmin kehitettiin rullauslaitteisto, rullien katkaisukone ja lastaussilta, minkä seurauksena voitiin jälleen vähentää kaksi työntekijää.

Kehittämistyön jälkeen koulintakoneikossa tarvittiin koulijoiden apuna vain rullaaja ja traktorinkuljettaja. Koulijoiden lukumäärä voi vaihdella, mutta mitä vähemmän koulijoita on, sitä pienempi on koulintakoneikon tuotos. Saatujen kokemusten perusteella koulintakoneikossa päädyttiin kahdeksan koulijan rullakoneeseen. Koulintalinjan käyttömiehitys oli tällöin seuraava:

8 koulijaa
1 rullaaja
1 traktorinkuljettaja, yhteensä 10 henkilöä.

Työryhmään tulee kuulua vielä työnjohtaja, joka valvontatyön lisäksi hoitaa aiemmin todetun mukaisesti eräitä muita tehtäviä.

Koulijat

Rullakoneella koulittaessa työliikkeet tahdistuvat ja ajoittuvat lähimain samanpituisiksi, sillä jokaiselle koulijalle jää käytännössä yhden taimen asetteluun yhtä pitkä aika. Mitä enemmän koulijat kykenevät lisäämään joutuisuuttaan, sitä suuremmat mahdollisuudet heillä on koulintahihnan nopeuden lisääntyessä saavuttaa suuri koulintatulos.

Käytännössä koulintakoneikon tuotos riippuu hitaimman koulijan joutuisuudesta. Liukuhihnakoulintaan on sen takia syytä valita työhön yhtä joutuisat henkilöt. Eräitä työntekijöitä näyttää viehättävän konekoulintaan liittyvä lievä pakko, joka vapauttaa heidät oman aloitteen tekemisestä. Sopivien koulijoiden kesken syntyy pienissä työryhmissä havaittava yhteenkuuluvuuden tunne. Ulkopuolisesta näyttää harjaantuneen työryhmän koulinta sujuvan vaivatta ja koulijat mielellään kuuntelevat musiikkia tai seurustelevat keskenään, mikä tietenkin lisää työviihtyvyyttä. Tämä ja tietoisuus vauhdissa mukana pysymisestä torjuu työhön ehkä muuten liittyvän yksitoikkoisuuden ja pakonomaisuuden.

Rullataimien koulintakoneikon tuotos riippuu ratkaisevasti koulijoiden yhteensopivuudesta ja heidän tavoitteidensa samankaltaisuudesta. Koulijat voivat nimittäin itse valita haluamansa koulintahihnan nopeuden, joka lähinnä määrää tehoaikana koneikolla saavutettavan tuloksen. Jos koulintahihnan nopeus on a m/s ja taimien keskinäinen etäisyys toisistaan b metriä, on tuotos 120 (a: b) tainta minuutissa. Tästä tuloksesta on kuitenkin vähennettävä se osa turvenauhaa, johon koulintaa ei voida suorittaa. Rullaa päätettäessä nimittäin kuluu esirullan tekemiseen ja valmistuneen rullan päättämiseen turvenauhaa. Tämä osa vastaa hukkaankuluvan muovikalvon määrää, hukkamuovia, jota kuitenkin tarvitaan rullan päättämiseen.

Taulukosta 1 nähdään mitatun hukkamuovin pituus kolmessa tapauksessa. Tulokset on laskettu koulintahihnalle sijoitetun matkamittarin ja tuotoksen avulla. Turpeen laatu ja sen kosteus vaikuttavat hukkamuovin kulutukseen, esimerkiksi maatunutta turvetta käytettäessä päästään rullauksen alkuun vähän pienemmällä esirullalla kuin lahoamatonta turvetta käytettäessä. Koulijoiden työtapa ja koulintahihnan nopeus vaikuttavat lisäksi asiaan.

Taulukko 1. Esimerkkejä hukkamuovin kulutuksesta konekoulinnassa.
Table 1. Examples of plastic sheet wastagein mechanized transplanting.

Koulintapaikka *Transplanting site*	Koulinta-aika *Transplanting period*	Tuotos *Output*		Hukkamuovia, m/rulla *Plastic wastage, m/roll*
		Rullia, kpl *Number of rolls*	m/s *m/s*	
Imari (I)	Heinä—elokuu 1969 *July—August 1969*	5 279	0,3	0,5
Suonenjoki (VIII)	Touko—kesäkuu 1970 *May—June 1970*	11 249	0,2	0,5
Suonenjoki (VIII)	Kesä—heinäkuu 1970 *June—July 1970*	2 656	0,1	0,7

Koulintatyössä tehoaika kaksoisrullaa kohti voidaan laskea seuraavasta yhtälöstä.

$$r_1 = \frac{1{,}67(b \cdot \frac{c}{2} + d)}{a} \text{ cmin/rulla, jossa} \qquad (1)$$

r_1 = kaksoisrullan koulimiseen kuluva aika, cmin/rulla
b = taimien koulintaväli rullassa, m
c = kaksoisrullassa olevien taimien lukumäärä, kpl
d = hukkamuovin pituus, m/rulla
a = koulintahihnan nopeus, m/s

Koneen tuotos riippuu siis ratkaisevasti koulintahihnan nopeudesta, jota rajoittavat inhimilliset tekijät. Yhden taimen asettamiseksi turvenauhalle on koulijaa kohden varattava riittävästi aikaa. Teoriassa tämä aika saadaan seuraavasta yhtälöstä.

$$r_2 = \frac{1{,}67(\frac{e}{2} \cdot b)}{a} \text{ cmin/taimi/koulija, jossa} \qquad (2)$$

r_2 = yhden koulijan ajanmenekki, cmin/taimi
e = koulijoiden lukumäärä, henkilöä
b = taimien koulintaväli rullassa, m
a = koulintahihnan nopeus, m/s

Taimen turvenauhalle asettamisen eli varsinaisen koulintatyön työliikkeet analysoitiin elokuvafilmin 3 360 kuvasta ja saatiin seuraava tulos.

Työliike	Työliikkeen osuus %
Irrottaa taimi vasemmassa kädessä pidetystä taiminipusta	24,1
Siirtää taimi luovutuskohdalle	42,9
Luovuttaa taimi turvenauhalle	20,5
Noutaa uutta tainta	12,5
Yhteensä	100,0

Nopeassa koulinnassa taiminipun etäisyys turvenauhasta pyritään pitämään pienenä. Tällöin taimen siirtoetäisyys on keskimäärin 10—20 cm. Taimen siirtäminen luovutuskohdalle kuluttaa yli kolme kertaa enemmän aikaa kuin melkein samanmatkainen uuden taimen noutaminen. Tämä luonnollisesti johtuu tarkkaavaisuudesta, jolla kuljetettavana oleva taimi on nopean työliikkeen aikana suunnattava täsmälleen oikeaan paikkaan ja asentoon alla juoksevalle turvenauhalle. Taimen irroittaminen nipusta ja sen luovuttaminen turvenauhalle vie suunnilleen yhtä paljon aikaa.

Koulintahihnan nopeus vaikuttaa tehotunnissa saavutettuun tulokseen, kuten nähdään taulukosta 2.

Taulukko 2. Rullakoneen tuotos tehoaikana kahdeksan koulijan työryhmää käytettäessä.
Table 2. Output of roll machine with 8 transplanters during effective time.

Koulintahihnan nopeus, m/s *Conveyor belt speed, m/s*	Koulittuja taimia tehotunnissa, kpl *Number of seedlings transplanted in an effective hour*	Koulijan ajanmenekki, cmin/taimi *Transplanter's time consumption, cmin/seedling*
0,17	7 164	6,00
0,27	11 461	3,75
0,37	15 748	2,73
0,47	20 084	2,14

Käytännössä työntekijän joutuisuudella on rajansa. Tuntitaksalla työtä tehdessä koulitaan yleensä vähän hitaammin, esimerkiksi hihnan nopeuden ollessa 0,17—0,25 m/s, mutta urakkatyössä, jossa palkka maksetaan koulittujen taimien lukumäärän perusteella, koulintanopeus yleensä kohoaa. Tästä on esitetty muutama esimerkki taulukossa 3.

Taulukko 3. Esimerkkejä rullakonekoulijan ajanmenekistä urakka- ja tuntityössä.
Table 3. Examples of roll machine transplanter's time consumption in work done on piece-work basis and by the hour.

Työn laatu ja taimitarha *Type of work and nursery*	Koulinta-aika *Transplanting period*	Rullia, kpl *Number of rolls*	Koulijan ajanmenekki, cmin/taimi *Transplanter's time consumption, cmin/seedling*
Urakkatyö *On piece-work basis*			
Imari (I)	Toukokuu 1966 *May 1966*	424	3,19
Imari (I)	Marraskuu 1966 *November 1966*	2 627	2,38
Imari (I)	Elokuu 1969 *August 1969*	5 279	3,49
Tuntityö — *By the hour*			
Suonenjoki (VIII)	Toukokuu 1970 *May 1970*	11 189	4,25
Suonenjoki (VIII)	Kesäkuu 1971 *June 1971*	10 675	3,23
Suonenjoki (VIII)	Kesäkuu 1972 *June 1972*	945	3,96
	Kaikkiaan — *Total/mean*	31 139	3,59

Ajanmenekki on ollut 3,2—4,3 cmin/taimi. Keskiarvoksi on saatu 3,6 cmin/taimi, joka vastaa koulintahihnan nopeutta noin 0,28 m/s. Kokemuksen perusteella tämä vauhti näyttää sopivalta tuntipalkallakin koulittaessa. Urakalla työskenneltäessäkään koulintahihnan vauhtia ei ole kohtuullista lisätä 0,3 m/s suuremmaksi. MTM-2:n perusteella (MTM-2 1970) saatiin koulijan ajanmenekkiä kuvaavaksi normaaliajaksi sama tulos kuin edellä eli 3,6 cmin/taimi. Näillä perusteilla on pidetty kohtuullisena merkitä konekoulinnan tehoajan likiarvo seuraavasti.

$$r_3 = 3{,}6 \text{ cmin/taimi/koulija} \quad (3)$$

r_3 = yhden koulijan ajanmenekki, cmin/taimi

Yhden koneesta valmistuneen kaksoisrullan vaatima tehoaika voidaan laskea myös seuraavasta yhtälöstä, joka antaa saman tuloksen kuin yhtälö (1).

$$r_1 = r_2\left(\frac{c}{e} + \frac{1}{b \cdot e}\right) \text{ cmin/rulla, jossa} \quad (4)$$

r_1 = kaksoisrullan koulimiseen kuluva aika, cmin/rulla
r_2 = yhden koulijan ajanmenekki, cmin/taimi (yhtälö 2)
c = kaksoisrullassa olevien taimien lukumäärä, kpl
e = koulijoiden lukumäärä, henkilöä
b = taimien koulintaväli, m

Kaksoisrullaan käytetyn ajan perusteella voidaan laskea koulintakoneen tuotos aikayksikköä, koulijaa ja koulijaryhmää kohden. Metsäpuiden taimien koulinta on tyypillistä kausityötä, jota suoritetaan keväällä ja syksyllä. Väliaikoina työntekijät ovat muiden työnantajien palveluksessa tai muissa taimitarhatöissä. Koulintaa aloitettaessa työhön totutteluun kuluu tavallisesti aikaa noin viikon verran. Tänä aikana koulijat tavallisesti päivä päivältä parantavat joutuisuuttaan, kuten nähdään taulukosta 4.

Taulukko 4. Esimerkki harjaantumisen vaikutuksesta rullakonekoulijan nopeuteen Imarin taimitarhalla.
Table 4. Example of the effect of familiarisation on the speed of a roll machine transplanter at Imari nursery.

Työpäivän järjestysnumero *Working day number*	Ajorupeaman järjestysnumero *Machine run number*	Koulittuja rullia, kpl *Number of rolls transplanted*	Koulijan ajanmenekki, cmin/taimi *Transplanter's time consumption, cmin/seedling*
1.	1.	600	4,0
2.	1.	395	4,0
	2.	239	3,6
3.	1.	410	3,8
	2.	19	3,4
	3.	211	3,5
4.	1.	630	3,3
5.	1.	678	3,5
6.	1.	106	3,4
	2.	624	3,2
7.	1.	27	3,4
	2.	313	3,3
	3.	267	3,1
8.	1.	689	3,1
	2.	71	3,6
	Kaikkiaan — *Total/mean*	5 279	3,5

Taulukko 5. Rullakonekoulijoiden ajankäyttö työvaiheittain.
Table 5. Time consumption of roll machine transplanters (according to work phase).

Työvaihe *Work phase*	Koulija *Transplanter number*			
	1	2	3	4
	Tehoajan jakauma, % *Distribution of effective time, %*			
Noutaa taimia — *Fetching seedlings*	11,1	9,9	7,8	6,0
Koulii taimia — *Transplanting seedlings*	72,2	75,7	64,5	75,2
Kaavaa — *Scraping peat off end of the roll*	14,2	—	—	—
Katkaisee — *Cutting plastic sheet*	—	11,7	—	—
Käärii — *Making core for a new roll*	—	—	27,3	—
Liimaa — *Glueing*	—	—	—	18,3
Kulkee nauhan mukana — *Moving with the strip*	0,3	0,1	0,2	—
Korjailee turvenauhaa — *Repairing peat strip*	2,2	2,6	0,2	0,5
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0

Hukkamuovi, pituudeltaan n. 0,5 metriä, jää rullaa päätettäessä luonnollisesti ilman taimia. Hukkamuovin kulkiessa koulijoiden ohi osa heistä suorittaa lisätehtäviä, jotka liittyvät rullan päättämiseen ja uuden rullan aloittamiseen. He joutuvat poistamaan turpeen muovikalvolta (= kaavaaminen), viiltämään muovikalvon poikki (= katkaiseminen), tekemään uuden rulla-aihion, esirullan (= käärintä) ja päättämään valmistuvan rullan (= liimaus). Nämä tehtävät on jaettu aikaisemmin selostetulla tavalla neljän koulijan kesken, joiden ajankäytön jakauma nähdään taulukosta 5.

Yhden rullan tehoaika muodostuu varsinaisesta taimien koulinta-ajasta ja hukkamuovin ohikulkemisajasta. Hukkamuovin ohikulkemisajan voidaan arvioida olevan noin 10 prosenttia koulimisajasta.

Taulukon 5 perusteella päädytään kuitenkin moniselitteisempään analyysiin. Kaikkien koulijoiden on samalla tavoin otettava koulittavat taimet takanaan olevasta taimilaatikosta ja korjailtava turvenauhaa, ts. poistettava nauhalla olevia puukappaleita ja muita epäpuhtauksia tai tasoitettava turvenauhaa. Näihin toimiin kuluu työntekijästä riippuen noin 6,0—11,1 ja 0,2—2,6 % tehoajasta. Neljä lisätöihin velvoitettua koulijaa voi käyttää varsinaiseen koulintaan vain 64,5—75,2 % tehoajasta. Heidän tulee taimien asettelussa olla nopeampia ja joustavampia kuin muiden koulijoiden, koska heidän on selviydyttävä mainittujen ylimääräisten töiden ohella koulinnasta samassa ajassa kuin niiden työntekijöiden, joilla ei ole lisätehtäviä. Ns. ylimääräiset työt voidaan asettaa ajankäytön mukaan järjestykseen, jolloin uuden rulla-aihion (esirullan) käärintä kuluttaa yli neljänneksen (27,3 %), liimaaminen vähän vähemmän (18,3 %) sekä kaavaaminen ja katkaiseminen lähimain yhtä paljon (14,2 ja 11,7 %) tehoaikaa. Tämän välttämättömän ylimääräisen työn tekemiseen tarvittava aika on siis kyseisten koulijoiden tavalla tai toisella otettava varsinaisesta koulinta-ajasta. Koulija voi rullan päättämisen yhteydessä yrittää koulia ennakkoon tai vähän myöhässä esimerkiksi liikkuen itse nauhan mukana. Myös on mahdollista pyytää vapaana olevan koulijan apua. Samaan tapaan on nopeutta lisättävä, kun koulija noutaa takanaan olevasta

laatikosta lisää taimia. Koulintatyö ei siis itse asiassa suju tasaisella nopeudella, vaan vaihtelee koulijalle sälytettyjen lisätehtävien takia.

Muutamat koulijat tuntuvat pitävän vaihtuvatempoisesta työstä. Mikäli heidänlaisiaan ei koulintaan löydetä, voitaneen työntekijöiden tehtäviä vaihtaa aika ajoin myös työn mahdollisen rasittavuuden tasaamiseksi. Käytännössä ongelma ei ole osoittautunut vaikeaksi. Koulijat itse ovat vain harvoin edes kiinnittäneet huomiota asiaan. Oikeudenmukaisiin palkkaperusteisiin pyrittäessä seikka tulisi kuitenkin ottaa huomioon maksamalla useampia työvaiheita suorittaville parempaa palkkaa.

Mikäli yksittäisen koulijan nopeus pysyy samana, voidaan koneen koulintakapasiteettia nostaa samassa suhteessa kuin koulijoiden lukumäärääkin lisätään. Tällaisella tuotoksen nostamisella on kuitenkin rajansa. Koneen koulintapaikkoja voidaan kyllä lisätä pidentämällä konetta, mutta tällöin hihnanopeus kasvaa vähitellen niin suureksi, että ihmisen on vaikea enää sopeutua siihen vauhtiin, jolla taimet kulkevat. Seuraavaan asetelmaan on esimerkinomaisesti laskettu koulintahihnan nopeuden kasvu koulijoiden lukumäärän lisääntyessä edellyttäen, että taimiväli on 15 cm ja yksittäisen koulijan ajanmenekki on 3,6 cmin/taimi.

Koulijoiden lukumäärä kpl	Koulintahihnan nopeus m/s
2	0,07
4	0,14
6	0,21
8	0,28
10	0,35
12	0,42

Koneikon tuotoksen kohottaminen on edullista siksi, että prosessissa mukana olevien muiden välttämättömien henkilöiden: rullaajan, työnjohtajan ja traktorinkuljettajan palkkamenot tuotettua tainta kohti silloin pienenevät. Samoin pienenevät kuljetustraktorin tuotosyksikkökustannukset. Käytännön kokemusten perusteella on päädytty kahdeksaan koulijaan.

Koneella voi työskennellä vain kaksikin koulijaa, mutta silloin kokonaistuotos jää vähäiseksi. Rullan päättäminen ja uuden rullan aloittaminen joudutaan silloin suorittamaan kahden henkilön yhteistyönä.

Rullan päättäminen voidaan luonnollisesti automatisoida, mutta silloin olisi ilmeisesti syytä automatisoida koulintakin. Näin korkean automatisointiasteeseen pyrkiminen koulinnassa, joka sittenkin muodostaa vain osan taimitarhan tehtäväkokonaisuudesta ja on kausiluonteista, ei vaikuta järkevältä, kuten jo aikaisemminkin on todettu.

Koulintakoneikko

Yhden koulijan ajanmenekki (cmin/taimi) edustaa sitä työn joutumisen tasoa, millä koulijan katsotaan pystyvän työskentelemään tehoaikana. Työpäivän tuotos riippuu tehoajan pituudesta.

Taulukko 6. Koulijoiden työmaa-ajan käyttö rullakonekoulinnassa Suonenjoella vuonna 1970.
Table 6. Work-place time expenditure of transplanters in roll machine transplanting at Suonenjoki in 1970.

Työvaihe *Work phase*	Työvaiheen osuus, % *Proportion, %*	
Tehoajat — *Effective times*		64,9
Taimien koulintatyö — *Transplanting seedlings*	60,7	
Paljasjuuristen taimien käsittely — *Handling bare-rooted seedlings*	3,3	
Työnjohdon neuvonta — *Receiving instructions from supervisors*	0,5	
Koulija odottaa toista koulijaa — *Waiting for another transplanter*	0,4	
Odotusajat — *Waiting times*		14,9
Muovin lisäys — *Adding plastic sheeting*	2,1	
Häiriö rullien katkaisukoneessa — *Fault in roll-cutting machine*	2,7	
Häiriö turpeen jakelulaitteessa — *Fault in peat feed rolls*	3,4	
Muut koneikossa sattuvat häiriöt — *Other technical faults*	5,3	
Muu syy — *Other reason*	1,4	
Lepotauko — *Rest-break*	12,0	12,0
Kahvitauko — *Coffee-break*	8,2	8,2
Yhteensä — *Total*		100,0

Taulukosta 6 nähdään koulijoiden ajankäyttö. Tällöin koulintakoneikko oli vasta äskettäin saatu asennetuksi paikoilleen. Tarkkailua suoritettiin yhdeksänä työpäivänä, jolloin koulittiin kaikkiaan 460 000 männyn tainta.

Mainittuna aikana oli kahdeksantuntisen työpäivän tuotos 55 300 tainta. Tehoajan osuus oli tällöin n. 65 % työajasta, mitä on pidettävä alhaisena. Seikalle löytyy kuitenkin luonnollinen selitys: työ oli koulijoille uutta, kuten jo mainittiin, ja myös koulintakoneikkoa kehiteltiin vielä.

Varsinkin kokeiltavana ollut rullien automaattinen katkaisulaite aiheutti jatkuvasti lyhytaikaisia häiriöitä. Vasta seuraavana vuonna saatiin käyttöön puoliautomaattinen ja käytännöllisesti katsoen häiriötön rullien katkaisulaite (kuva 14). Turpeen jakelulaitteissa esiintyi myös runsaasti häiriöitä, jotka johtuivat pääasiassa turpeen seassa olevien puukappaleiden runsaudesta. Koulinta jouduttiin näiden ja muiden konehäiriöiden takia usein keskeyttämään, mikä vaikutti jossain määrin myös koulijoiden työvireyteen. Esimerkiksi kahvitauot venyivät tavanomaista pitemmiksi.

Tarkasteltavana olevana ajanjaksona yhden koulijan keskimääräinen ajanmenekki oli 3,86 cmin/taimi. Ajanmenekin aleneminen sivulla 40 esitettyyn keskimääräiseen arvoon eli 3,6 cmin/taimi/koulija, nostaisi kahdeksantuntisen päivän tuotoksen 59 300 taimeen. Edelleen, jos koulijoiden tehoaikaa voitaisiin nostaa 70 prosenttiin, mille konehäiriöttömissä olosuhteissa ei näytä olevan esteitä, voisi kahdeksan koulijan työryhmä tuottaa tuntityönä ainakin 68 000 tainta kahdeksan tunnin pituisena työpäivänä.

Seuraavana kesänä mitattiin Suonenjoella koulijoiden ajanmenekiksi 3,23 cmin/taimi/koulija (taul. 3). Jos aiemmin esitetyn mukaisesti koulijoiden tehoaika olisi ollut 70 % työpäivän ajasta, saataisiin kahdeksan koulijan työryhmän kahdeksantuntisen työpäivän tulokseksi 76 250 tainta.

Koulijoiden tehoajan osuuden tarkempi määritys ei ole ollut mahdollista. Koulinta Suonenjoen taimitarhalla on parhaimmillaankin käsittänyt vain 1,5 miljoonaa tainta vuodessa. Koulijat ovat joka kevät työhön ryhtyessään olleet osittain tottumattomia eikä työnjohdolla ole ollut mahdollisuutta verrata konekoulinnan tuloksia jonkin muun taimitarhan saavutuksiin, koska täydellistä koneikkoa ei muualla ole käytössä. Esimerkiksi Metsänjalostussäätiön kahta rullakonetta on käytetty pääasiassa siementaimien tuottamiseen ja Metsähallituksen kolme rullakonetta ovat olleet tekniseltä valmiusasteeltaan toisenlaisia. Koulintatyö Suonenjoen taimitarhalla on ollut kovin vapaavalintaista ja työntekijöiden määrättävissä ilman ulkopuolista esikuvaa. On huomattu koulijoiden mielellään keskeyttävän työnsä, mikä voi olla seurausta työn yksitoikkoisuudesta.

Edellisen perusteella voitaneen rullakoulinnan tuotokseksi kahdeksantuntisena työpäivänä olettaa n. 70 000 tainta/työpäivä. Päivätuotoksesta esitetyt arviot liikkuvat 60 000—80 000 taimen vaiheilla, joten oletettu luku edustaa keskimäärää.

Mainitun tuotosluvun perusteella voidaan kirjoittaa

$$R_1 = 5{,}5 \text{ cmin/taimi/koulija, jossa} \qquad (5)$$

R_1 = yhden koulijan työmaa-aika, cmin/taimi

Tämä merkitsee esimerkiksi 70 000 taimen koulinnan osalta 70 000 × 5,5 cmin = 64,2 tunnin pituista ihmistyöpanosta, joka on työpalkkoina korvattava koulijoille. Rullaajan ja työnjohtajan osuus tästä, kummankin erikseen, on koulijoiden lukumäärän osoittama murto-osa, kyseisessä tapauksessa $^1/_8$ koulijoiden panoksesta.

Rullaajan työmaa-aika jakautui toukokuussa 1970 Suonenjoella seuraavasti.

Työvaihe	Työvaiheen osuus %
Käsittelee taimirullia	60,7
Öljyää katkaisuterää	0,2
Odottaa	39,1
Yhteensä	100,0

Rullaaja joutuu siis odottamaan pitempiä aikoja kuin koulijat. Samanaikaisesti jakautui työnjohtajan työmaa-aika taulukon 7 mukaisesti.

Työnjohtajan työn osuuden arvioidaan taulukon 7 perusteella olevan häiriöttömästi käyvässä koulintakoneikossa noin 11 %. Sen sijaan valvonnan osuus hänen tehtävissään on vakiintuneissa olosuhteissa huomattavasti vähäisempi. Kyseisessä tapauksessa nimittäin puutteellisesti toiminut rullien katkaisulaite (s. 43) sekä turvepää lisäsivät valvontatehtäviä ja koneiston pysähtelemistä. Muut laitteet sen sijaan toimivat tässä vaiheessa jo lähes normaalisti, joten häiriöttömässä prosessissa työnjohtajan aktiivinen valvonta-aika saatetaan arvioida noin 5 %:ksi. Myös koneiden korjauksen osuus jäänee vähäisemmäksi.

Edellisen perusteella työnjohtajan tehtävät häiriöttömässä koulinnassa sisältänevät tehoaikaa alle 20 %. Muu osa hänen ajastaan on vain varallaoloa ennakkoon arvaamattoman häiriön takia.

Taulukko 7. Työnjohtajan ajankäyttö rullakonekoulinnassa Suonenjoella vuonna 1970.
Table 7. Foreman's time consumption in roll machine transplanting at Suonenjoki in 1970.

Työvaihe *Work phase*	Työvaiheen osuus, % *Proportion, %*	
Suoritettava työ — *Work to be done*		11,3
Muovirullan vaihto — *Changing plastic sheet roll*	2,5	
Lannoitteiden lisäys — *Adding fertilizer*	1,0	
Liiman lisäys — *Adding glue*	2,4	
Turpeen siirtotoimet — *Moving peat*	3,2	
Taimihuolto — *Attending to seedling supply*	2,2	
Valvonta — *Supervising*		17,7
Turvepään valvonta — *Supervising peat feeding machinery*	7,9	
Rullaus- ja katkaisulaitteen valvonta — *Supervising rolling and cutting machines*	8,6	
Muiden laitteiden valvonta — *Supervising other equipment*	1,2	
Koneiden korjaus — *Repairing machines*		8,4
Odotusaika — *Waiting time*		62,6
Yhteensä — *Total*		100,0

Keväällä 1971 vaihdettiin koneikkoon uudentyyppinen rullien katkaisulaite (kuva 14). Se sijoitettiin koulintalinjaan rullakoneen ja lastaussillan väliin, kuten aikaisemmin sivulla 33 on esitetty. Laite joutui rullaajan hoitoon, jolloin hänen ajankäyttönsä koulintakoneen käydessä muodostui seuraavaksi.

Työvaihe	Työvaiheen osuus %
Rullauslaitteiston hoito	20,8
Rullan liimauksen tarkistus	9,1
Rullan nosto katkaisukoneeseen	12,1
Leikattujen rullien siirto lastaussillalle	21,7
Lastaussillan kuljetushihnan liikuttelu	3,7
Paluu rullauslaitteiston hoitoon	7,1
Odotusaika	25,5
Yhteensä	100,0

Yhtä koulijaa kohti ajanmenekki oli tarkkailuaikana 3,0 cmin/taimi. Koska rullaajan ajasta neljännes kului odotteluun, koulijat voivat lisätä tuotostaan ilman, että hänen tehotyöaikansa kävisi lyhyeksi.

Aiemmin esitetyn mukaisesti traktorinkuljettajan päätehtävänä on lastaussillalla olevien taimirullien kuljetus taimitarhalle. Aluksi siirrettiin taimirullat hoitoa varten muovihuoneeseen, mutta myöhemmin on katsottu avomaakasvatuksen antavan jopa parempia tuloksia, mikä on tietenkin ollut kustannusten kannalta edullista.

Traktorityöstä tehtiin havaintoja Suonenjoella touko—kesäkuun vaihteessa 1970. Tällöin suoritettiin 140 kuljetusta ja käsiteltiin 16 088 katkaistua rullaa, joissa oli yhteensä 579 168 tainta. Yksi kuorma sisälsi siis 115 rullaa, mikä vastaa lähes viittä

neliömetriä vierekkäin asetettuja rullia. Siirtomatka oli keskimäärin 137 metriä. Ajoradasta oli 80 % öljysorapeitteistä tietä, muu osa pehmeää hiekkaa. Traktorin ajonopeus oli kuormattuna 6,8 ja tyhjänä 7,7 km/h.

Taimien siirtokuljetuksen tehoajaksi saatiin tainta kohden

$$r_4 = 0{,}1031 + 0{,}0004059\ g + h \text{ cmin/taimi, jossa} \qquad (6)$$

r_4 = taimirullien traktorikuljetuksen tehoaika, cmin/taimi
Vakio (= f) 0,1031 cmin/taimi, sisältää rullien lastauksen, traktorin peruutuksen ja purkauksen kentälle sekä traktorin peruutuksen konehalliin uutta lastausta varten
g = kuljetusmatka hallista taimitarhalle traktorin peruutusvaiheeseen saakka, m
h = kuljetuskärryn purkausaika, jolle voidaan antaa seuraavia arvoja:

h_1 = 0,0 cmin/taimi, jos traktorinkuljettaja purkaa kärryn veivaamalla ja jättää rullat silleen kentälle
h_2 = 0,0221 cmin/taimi, jos kuljettaja veivaa rullat kentälle ja tämän lisäksi oikoo muodostuneen taimirullapenkin. Muuten rullat jäävät vierekkäin siihen asentoon, missä ne olivat kuljetuskärryn lavallakin
h_3 = 0,1341 cmin/taimi, jos traktorinkuljettaja nostelee taimirullat yksitellen kärryn lavalta ja sijoittaa ne tasaisen välimatkan päähän toisistaan. Tällöin rullien väliin jää tilaa ja taimien latvusto jää vapaampaan tilaan.

Turpeen lastaukseen liittyvää traktorityötä seurattiin touko—kesäkuussa 1970. Tällöin suoritettiin 190 lastausajoa ja koulittiin 821 000 tainta.

Traktorin tehoaika jakautui tällöin seuraavasti.

	%
Rullien kuljetuskärryn irroitus ja kytkentä	13,8
Ajo turvevarastolle ja sieltä paluu	44,2
Turpeen kauhaaminen	42,0
Yhteensä	100,0

Turpeen lastauksen tehoajaksi saatiin

$$r_5 = 0{,}1258 \text{ cmin/taimi} \qquad (7)$$

Traktori oli varustettu 0,6 m³:n kauhalla. Turvekone täyttyi yleensä jo kahdesta kauhallisesta. Vain joka kuudennella ajokerralla kone oli tyhjentynyt niin perusteellisesti, että siihen voitiin lastata neljä kauhallista. Toisin sanoen traktorinkuljettaja olisi voinut käydä harvemminkin täyttämässä turvekonetta. Lastauksen tehoajanmenekki on siis vähän ylimitoitettu.

Taimien kuljetuksen ja turpeen lastauksen välissä traktorille jäi aikaa muihinkin tehtäviin. Siksi se voi noutaa koulittavat taimet taimitarhan nostopaikalta tai kylmävarastosta, joihin oli matkaa noin 300—400 metriä. Paljasjuuristen taimien noutoajaksi saatiin

$$r_6 = 0{,}1167 \text{ cmin/taimi} \qquad (8)$$

Taimien hakumatkalla traktorinkuljettaja on saattanut suorittaa jonkin verran muitakin tilapäisiä tehtäviä, minkä vuoksi esitetty noutoaika lienee vähän liian suuri. Taimien hakuaikaan on laskettu kuuluvaksi myös se aika, jonka traktorinkuljettaja käytti konehallissa taimilaatikoiden siirtämiseen traktorin lavalta koulijoiden saataville. Tämän siirtelyn hän usein suoritti yhdessä työnjohtajan kanssa, joka sen sijaan yksinään huolehti koulijoiden taimilaatikoiden täydennyksestä.

Kaikki koulintalinjaan liittyvät laskelmat on esitetty tehoaikoina. Koulijat ja rullauslaitteiston hoitaja työskentelevät samanaikaisesti.

Traktorinkuljettajan työ on itsenäistä, mutta se riippuu koulijoiden työstä. Hänen on nimittäin kyettävä kuljettamaan taimirullat hoitopaikalle, lastaamaan turvekone ja toimittamaan koulittavat paljasjuuriset taimet koulijoiden käyttöön siten, että koulijoiden työ voi jatkua keskeytyksettä. Miten traktorinkuljettaja selviytyy näistä tehtävistä riippuu kokonaan siitä, onko hänellä riittävästi työmaa-aikaa käytettävissään. Ajan riittävyyttä voidaan tarkastella esimerkinomaisesti.

Koulintalinjan tuotoksen oletetaan olevan 70 000 tainta kahdeksassa tunnissa. Traktorityön tehoajaksi saadaan silloin kaavojen (6—8) perusteella, jos rullat puretaan kentälle veivaamalla:

$$70\,000 \times (0{,}1587 + 0{,}1258 + 0{,}1167)\ \text{cmin} = 4{,}68\ \text{h},$$

mutta jos rullat nostellaan kentälle käsin kuljetuskärrystä:

$$70\,000 \times (0{,}2928 + 0{,}1258 + 0{,}1167)\ \text{cmin} = 6{,}25\ \text{h}$$

Edellisessä tapauksessa tehoajan osuus on 58,5 ja jälkimmäisessä tapauksessa 78,1 prosenttia työmaa-ajasta. Traktorinkuljettajalla on siis hyvät edellytykset suoriutua kummassakin tapauksessa tehtävistään.

43. Käyttövoima ja -tarvikkeet

Rullataimien koulintakoneikko käy sähköllä. Kuljetustraktori on polttomoottorikäyttöinen.

Rullakoneen koulintahihnan yläpuolelle, vähän koulijoiden päiden yläpuolelle on lisäksi sijoitettu kaksi sähköllä toimivaa lämpösäteilijää. Niiden tarkoituksena on heijastaa lämpöä sille suppealle alueelle, jossa taimet asetellaan nauhalle paljain käsin. Lämmöstä on varsin suurta apua kevään ja syksyn kylmillä säillä, sillä kouliminen käy päinsä käsien kohmettumatta. Kohdistamalla lämpösäteilijät näin koulintahallin muut tilat voidaan pitää viileinä, mikä on koulittavien taimien kannalta edullista.

Sähkömoottorit ja lämpösäteilijät oli varustettu käyttötuntimittarein. Seuraavalla sivulla olevasta asetelmasta nähdään sähkömoottoreiden käyttöaste Suonenjoella vuosina 1971—76, kun koulintahihnan käynnissäoloaikaa on merkitty luvulla 100.

Sähkömoottorin käyttökohde	Moottorin nimellisteho kWh	Käyttöaste %
Koulintahihna	1,5	100,0
Turvekotelon riparummut	1,5	120,7
Turvekoneen riparummut	4,0	117,6
Turvekoneen kolaketju	0,75	24,8
Rullien katkaisukone	1,5	21,1
Lastaussilta	0,9	6,3
Yhteensä	10,15	

Asetelman mukaan koulintakoneen turvekotelon ja turvekoneen riparummut ovat käynnistettyinä lähes viidenneksen enemmän kuin koulintahihna, mikä johtuu siitä, että niiden käyttömoottorit on pantava pyörimään ennen koulintahihnan liikkeelle lähtöä. Myös lyhytaikaisten koulintakeskeytysten aikana moottorit jatkavat käyntiään. Tästä johtuu näiden moottoreiden suurempi käyttöaste, mikä merkitsee samalla sitä, että koulijoiden on oltava paikoillaan työvalmiudessa viidenneksen enemmän kuin heidän koulintatehoaikansa edellyttäisi.

Äskeisen asetelman mukaan koulintalinjan sähkömoottoreiden nimellisteho on 10,15 kWh. Koska moottoreiden käyttöaste vaihtelee, saadaan niiden nimelliseksi käynnissäoloaikaiseksi tehoksi 8,6 kWh. Sähkömoottoreiden verkosta ottamaa todellista tehoa ei ole mitattu. Lämpösäteilijöiden nimellinen kulutus on ollut 4,4 kWh ja ne ovat käyttötilaston perusteella olleet toiminnassa noin 10 % koulintahihnan moottoria pitempään. Edelliset yhdistäen on koulintakoneikon nimellistehoksi v. 1971—1976 saatu 13,4 kWh.

Työmaa-aikana koulittua tainta kohden muodostuu sähkön nimelliskulutus seuraavaksi.

$$T_1 = \frac{13{,}4\, R_1}{6\,000\ e} \text{ kWh/taimi, jossa} \qquad (9)$$

T_1 = sähkön nimelliskulutus työmaa-aikana, kWh/taimi
R_1 = koulimisen työmaa-aika cmin/taimi/koulija (yhtälö 5)
e = koulijoiden lukumäärä, henkilöä

Turvenauhan aluskerroksena on käytetty polyeteenikalvoa. Sitä valmistetaan teollisesti kahdella tavalla: puhallus- ja tasokalvomenetelmää käyttäen.

Tasokalvoa on käytetty ennen kaikkea pakkauskoneissa sen optisten ominaisuuksien ja tasaisuuden takia. Viimeksi mainitusta syystä katsottiin tasokalvo sopivaksi myös rullataimituotantoon, koska alustavissa kokeissa puhalluskalvo aiheutti käyttöhäiriöitä. Myöhemmin puhalluskalvon laatu on parantunut ja sitä on uudestaan alettu käyttää rullakonekoulinnassa.

Vaikka polyeteenikalvo vaikuttaa tiiviiltä, se kuitenkin läpäisee vesihöyryä ja eräitä kaasuja. Rullataimien kasvatuksessa tätä ominaisuutta on pidettävä edullisena.

Valmistaja (Säterin . . . 1966) on antanut polyeteenikalvon läpäisevyydestä taulukosta 8 selviävät tiedot.

Taulukko 8. Rullien käärinnässä käytetyn polyeteenimuovikalvon läpäisevyys valmistajan ilmoituksen perusteella (Säterin ... 1966)

Table 8. Permeability of the plastic sheet used in roll making as reported by the manufacturer (Säterin ... 1966).

Läpitunkeutuva aine *Permeating substance*	Muovikalvon paksuus, mm *Thickness of plastic sheet, mm*	
	0,020	0,025
Vesihöyry — *Steam*, g/m²/24 h/1 atm	5— 10	4— 8
Happi — *Oxygen*, cm³/m²/24 h/1 atm	5 000 — 5 500	4 000 — 4 500
Hiilidioksidi — *Carbon dioxide*, »	25 000 —35 000	20 000 —30 000
Typpi — *Nitrogen*, »	2 500— 3 500	2 000— 3 000

1 atm = 101,325 kPa

Käytetyn polyeteenikalvon ominaispaino on ollut 0,922 g/cm³. Tämän perusteella yhdessä kilossa on 160 m 34 cm leveää ja 0,02 mm paksua kalvoa.

Valmistajan ilmoituksen mukaan tasomuovin paksuus vaihtelee ± 5 %, mikä merkitsee, että kilosta saadaan 152—168 metriä kalvoa. Muuten samanlaisen, mutta puhallusmenetelmällä aikaansaadun kalvon paksuus vaihtelee ± 20 %, joten kilosta saataisiin vastaavasti 128—191 metriä.

Seitsemästä eri rullasta umpimähkäisesti otetun 40 metrisen näytteen perusteella saatiin Suonenjoella nimelliseltä paksuudeltaan 0,020 millimetrin tasokalvon paksuudeksi 0,0221 mm, eli kalvoerä oli 10,5 % nimellismittaansa paksumpaa. Saatu tulos antaa aiheen olettaa, että muovin kulutuslaskelmissa nimellisen paksuuden sijasta olisi aiheellista käyttää jonkin verran, esimerkiksi 10 % suurempaa arvoa, jotta eivät muovin kulutuslaskelmat muodostuisi liian optimistisiksi.

Yhtä koulittua tainta kohden tarvittavan muovikalvon määrä voidaan laskea seuraavasta kaavasta.

$$T_2 = 0{,}5 \left(1 + \frac{i}{100}\right) j \cdot k \cdot l \cdot m \text{ g/taimi, jossa} \qquad (10)$$

T_2 = muovikalvon kulutus, g/taimi
i = esirullaukseen ja rullan päättämiseen kuluvan muovin osuus prosentteina taimirullaan käytetyn muovin pituudesta, %
j = muovikalvon leveys, cm
k = muovikalvon paksuus, cm
l = taimien koulintaväli, cm
m = muovin tiheys, g/cm³

Rahkasammalturvetta on sen poikkeuksellisten ominaisuuksien johdosta pidetty parhaimpana moniin viljelytarkoituksiin. Tällaista turvetta on meillä alettu kutsua kasvuturpeeksi ja sitä käytetään runsaasti kasvualustana mm. metsätaimitarhoilla.

Kasvuturve tuotetaan lähes yksinomaan jyrsinmenetelmällä, jossa pinnastaan kuivuneesta turvekentästä jyrsitään kerrallaan muutaman millimetrin paksuinen kerros. Turve puhalletaan samantien kokoojavaunun säiliöön.

Kasvuturpeen rahkasolut muodostavat kapillaarisysteemin. Solujen seinissä on erilaisia vahvennoksia, jotka eivät kuivanakaan painu kokoon. Siksi turve voidaan pitää halutun kosteana ja säilyttää samalla sen ilmavuus, mikä on tärkeää juuriston hapensaannille. Lisäksi rahkasammalen lehti- ja varsisolut ovat pinta-aktiivisia, ne pystyvät vastaanottamaan ja varastoimaan sekä tarpeen tullen jälleen luovuttamaan suuria ravinnemääriä (P u u s t j ä r v i 1973).

Rullataimituotantoa varten kasvuturve varastoidaan aumaan turvekoneen läheisyyteen. Turve ostetaan tavallisesti irtotilavuusmittoina. Tällainen turve, varsinkin ns. vaalea rahkaturve, on kuohkeata. Kasvualustana turve painuu aina jonkin verran kasaan oman painonsa takia, etenkin kasteltaessa.

Imarin taimitarhalla selvitettiin kolmesta turve-erästä rullatun kasvuturpeen kokoon painumista. Tulokset nähdään taulukosta 9.

Taulukko 9. Koneella käärittyjen rullien turpeen kokoonpuristuminen Imarin taimitarhalla vuonna 1966.

Table 9. Shrinkage of peat on rolls made by the roll machine at Imari nursery in 1966.

Koe-erän kasvuturvemäärä, m³ *Volume of peat in the test lot, m³ loose*	Maatuneisuus (von Post -arvo) *Degree of decomposition (von Post value)*	Turpeen kokoonpuristumiskerroin *Coefficient of shrinkage of peat*
5,0	4	0,85
5,3	4	0.85
5,0	3	0,81

Vertauksen vuoksi mainittakoon, että turvetta säkkeihin pakattaessa 400 l irtoturvetta puristetaan tavallisesti 170 l säkkiin (P u u s t j ä r v i 1973). Tällöin kokoonpuristumiskerroin on 0,425. Turvelevyissä ja turvepuristeissa kerroin on vastaavasti n. 0,17 ja 0,13. Kastelun jälkeen tällainen turve palautuu lähinnä rahkasolujen kimmoisuuden ansiosta lähelle entistä tilavuuttaan.

Rullauksessa käytettävän kasvuturpeen kulutus on laskettavissa seuraavasta kaavasta.

$$T_3 = \frac{0{,}5\,(1 + \frac{i}{100})\,j \cdot l \cdot n}{o}\ \text{cm}^3/\text{taimi, jossa} \qquad (11)$$

T_3 = irtotilavuutena määritetyn turpeen kulutus, cm³/taimi
i = esirullaukseen ja rullan päättämiseen kuuluvan muovin osuus prosentteina yhteen rullaan käytetyn muovin pituudesta, %
j = muovikalvon leveys, cm
l = taimien koulintaväli, cm
n = valmiista rullasta mitatun turvekerroksen paksuus, cm
o = turpeen kokoonpuristuskerroin, esim. 0,8

Aikaisemmin jouduttiin käyttämään peräkkäin kahta kuvassa 9 esitettyä lannoitteen sirottelijaa, joista toinen sirotteli turvenauhalle kalkin ja toinen turpeen peruslannoitteen. Kun Kekkilä Oy alkoi valmistaa happamelle turpeelle tarkoitettua peruslannoitetta, jossa kalkki ja erilaiset kasviravinteet oli sekoitettu yhdeksi sirotteeksi, tarvitsi rullakoneen sirottelukotelon eteen asentaa vain yksi lannoitteen jakaja.

Lannoitteen menekki voidaan laskea seuraavasta kaavasta.

$$T_4 = \frac{p}{1\,000} T_3 \text{ g/taimi, jossa} \qquad (12)$$

T_4 = lannoitteen kulutus, g/taimi
p = lannoitteen annostus turpeen irtotilavuutta kohden, kg/m³
T_3 = irtotilavuutena määritetyn turpeen kulutus, cm³/taimi (yhtälö 11)

Rullien päättämisessä liimaus osoittautui käytännöllisimmäksi ratkaisuksi, kuten aiemmin on mainittu. Liimaa sipaistiin muovikalvon poikki 4 cm leveänä juovana eli noin 130 cm² suuruiselle alueelle kutakin rullaa kohden. Kokeilluista liimoista vain A-parketti -niminen bitumipitoinen liima, jota Yhtyneet muovitehtaat Oy valmistaa, osoittautui sitkeytensä ansiosta muovin liimaamiseen soveliaaksi. Sivelykokeessa todettiin karkeaharjaksista pensseliä käytettäessä A-parkettiliimaa kuluvan noin 250 g/m². Tämän perusteella liiman kulutusta voidaan kuvata yhtälöllä

$$T_5 = \frac{3{,}2}{c} \text{ g/taimi, jossa} \qquad (13)$$

T_5 = liiman kulutus, g/taimi
c = kaksoisrullassa olevien taimien lukumäärä, kpl

44. Taimien kasvattaminen taimitarhalla

Rullataimen juuristo voi vapaasti kasvaa sivulle päin turvenauhan kierteitä seuraten. Tällöin vierekkäisten taimien juuret voivat levitä toistensa lomaan, mutta pysyvät edelleen rullassa. Taimien alaspäin suuntautuvat juuret voivat sen sijaan kasvaa rullasta ulos maan pintakerrokseen. Tällaista hoitoalustaa on esimerkiksi hiekkamaa tai ravinnerikas taimitarhamaa. Juuret voivat työntyä rullasta ulos, eräissä tapauksissa jopa niin, että rullien noston yhteydessä suuri osa taimien aktiivisesta juuristosta katkeaa.

Parhaiten pystyttiin hallitsemaan ulos rullasta pyrkiviä juuria Kormun kokeissa, joissa rullien hoitopaikkana oli hiesusavipohjainen nurmikenttä. Nurmen ja siinä mahdollisesti esiintyvien rikkakasvien hävittämiseksi käytettiin Gesaprim 50 -nimistä rikkaruohon tuhoainetta, joka kylvettiin nurmelle, 3 kg/ha, viikkoa ennen rullien asettelua. Käsittely hävitti nurmen ja rikkaruohot. Kesän mittaan havaittiin, että taimien juuret kasvoivat rullista ulos vain noin 2—3 cm. Vaikuttiko suotuisaan tulokseen rikkaruohon tuhoaine, tiivis alusta vai kastelumenetelmä tai kaikki yhdessä, jäi erittelemättä. Toistuvien käytännössä tehtyjen havaintojen perusteella on todettu

että jos rullien alusta on tiivistä tai vähähappista, voidaan juurien karkaaminen rullista estää. Samalla tavalla vaikuttaa rullien pitäminen kasvuaikana tasaisen kosteina.

Edellä mainitun tiiviin, mutta juurille jossain määrin sopivan alustan käyttäminen rullien hoitoalustana tarjoaa taimitarhalle verrattain halvan maapohjaratkaisun. Kohtuullisen peruskuivatuksen lisäksi on tällöin tarpeen vain tasata alue, mutta varsinaista muokkauskerrosta ei tarvita, kuten paljasjuurisia taimia tuotettaessa. Näin rullataimien hoitokentän perustamiskustannukset jäävät paljasjuurisia taimia tuottavan tarhan perustamiskustannuksia alhaisemmiksi.

Kokeellisesti on todettu, että rullien hoitoalustan liiallinen lannoittaminen estää juurien kasvun rullasta, mutta liikalannoitukseen liittyvä myrkytysvaikutus häiritsee helposti taimien kokonaiskasvua, saattaa jopa aiheuttaa niiden kuoleman. Sitä paitsi lannoitteet nopeasti sateen ja kastelun vaikutuksesta huuhtoutuvat pintakerroksesta alemmaksi. T a k a g i ja M a s u d a (1967) ovat kokeilleet useita aineita yrittäessään estää paper pot-taimien juuria kasvamasta hoitoalustaan. Metsänjalostussäätiö on käytännössä kokeillut menetelmää, jossa rullat pari kertaa kesässä kumotaan juuret aurinkoa kohden. Tällä tavalla on tehokkaasti voitu hillitä juurten kasvamista ulos rullista.

Juurien kasvun tielle voidaan asettaa esteitä, niin kuin edellä on kuvattu, mutta myös hoidolla, lähinnä lannoituksella ja kastelulla voidaan vaikuttaa juurien kasvuun. Jos lannoitteet, kosteus ja kasvualustan ilmavuus ovat sopivia, juuret saavat tarpeellisen toimeentulonsa suppeammalta alueelta kuin päinvastaisessa tapauksessa. Käytännössä on selvästi todettu, että lannoitteiden väheneminen ja heikko tai epäsäännöllinen kastelu houkuttelevat juuria hakeutumaan ulos rullasta ainakin, jos hoitoalustan maapohjasta löytyvät juurille suotuisat kasvuedellytykset. Liian voimakas lannoittaminen tai liian runsas kastelu voivat aiheuttaa saman ilmiön. Tällöin juuret pyrkivät pakoon epäsuotuisasta kasvuympäristöstä.

Irtotilavuutena mitatun turpeen lannoittamiseen käytettiin aluksi Rikkihappo Oy:n valmistamaa turpeen peruslannoitetta 1,8 kg/m³ ja samassa yhteydessä happamuuden alentamiseksi dolomiittikalkkia 4 kg/m³. Kun nämä lannoitteet ja maanparannusaineena käytetty kalkki jaetaan tasaisesti turvenauhan lapepinnalle, saadaan taulukossa 10 esitettyjä arvoja.

Taulukko 10. Esimerkkejä konekoulinnassa siroteltujen lannoitteiden ja kalkin määrästä turvenauhan lapepintaa kohden laskettuna.

Table 10. Examples of amounts of fertilizer and lime spread onto the peat strip in mechanized transplanting. Amounts calculated per surface unit of peat strip on conveyor-belt.

Taimitarha *Nursery*	Turvenauhan paksuus, cm *Thickness of peat strip, cm*	Turpeen peruslannoitetta, g/cm² *Basic fertilizer for peat, g/cm²*	Kalkkia, g/cm² *Lime, g/cm²*
Imari (I)	0,4	0,0010	0,0019
Suonenjoki (VIII)	0,6	0,0014	0,0028
Röykkä (VII)	1,1	0,0026	0,0052

Myöhemmin peruslannoitteena käytettiin Kekkilä Oy:n turpeen peruslannoitetta n:o 11 (Peruslannoite . . .), 4—5 kg/m³, jonka kasvirakennekokoomus on seuraava.

Ravinne	Ravinnesisältö %
Typpeä (N)	5,2
Fosforia (P)	4,8
Kaliumia (K)	4,3
Kalsiumia (Ca)	25,0
Magnesiumia (Mg)	1,5
Rikkiä (S)	1,0
Rautaa (Fe)	6,0
Mangaania (Mn)	1,5
Booria (B)	0,02
Kuparia (Cu)	0,025
Sinkkiä (Zn)	0,08
Natriumia (Na)	0,02
Yhteensä	49,4

Kasvukauden aikana on lannoitteita lisättävä tarpeen mukaan. Tällöin lannoitus on suoritettava rulliin päältä päin joko kylvettyinä lannoiterakeina tai kasteluveteen liuotettuna. Samalla tavalla kuin lisäravinteet on kasteluvesi toimitettava rullataimiin päältä päin. Puustjärven (1973) mukaan juuriston toimintaedellytykset turpeessa ovat sitä paremmat, mitä pienempi on kasvualustan pinnan ja pohjan välinen kosteusero edellyttäen, että turpeen keskimääräinen kosteustila on optimaalinen. Jos turpeen optimikosteus olisi pidettävä esimerkiksi 39,0—45,6 tilavuusprosentin rajoissa, tarvittaisiin kasteluvettä 11,2 l/m², jos 17 cm korkeiden rullien kastelussa siirryttäisiin mainitusta optimikosteuden alarajasta ylärajalle. Tämä vesimäärä merkitsisi yhtä rullatainta kohden laskettuna turvekerroksen paksuuden vaihdellessa seuraavia vesimääriä.

Taimen juuripaakun turvekerroksen paksuus cm	Kasteluveden määrä cm³/taimi
0,4	6,7
0,6	10,1
1,1	18,5

Taimien hoitokastelu on siis suunniteltava siten, että kasteluannos tainta kohden on sopivan suuruinen ja että kasteluvedellä on aikaa imeytyä juuripaakun sisälle. Tämän vuoksi on pyrittävä kastelumenetelmään, jossa kasteluvedellä on hyvät edellytykset imeytyä. Kirjoittajan toimesta onkin kehitetty avomaaolosuhteisiin liikkuva kastelulaitteisto ja muovihuoneen kastelujärjestelmä (Nisula 1975, 1976). Laitteistoihin kuuluvalla kellokytkimellä voidaan kastelu järjestää haluttuna ajankohtana, vaikkapa yöllä. Kastelun määrää voidaan valvoa järjestelmiin liitettävien kasteluvaakojen avulla.

Rullataimimenetelmän keksimisen aikoihin olivat taimitarhat kiinnostuneita muovihuoneiden käytöstä. Koulitut rullataimetkin pyrittiin kasvattamaan metsänvientikuntoon muovihuoneissa. Koska muovihuonekasvatus merkitsee huomattavaa kustannuslisää kokeiltiin rullataimien hoitamista avomaa- ja muovihuoneolosuhteissa.

Mellanån taimitarhalla Lappfjärdissä (IV) koulittiin keväällä 1967 männyntaimia rulliin, joista puolet hoidettiin avomaalla ja toinen puoli muovihuoneessa. Samana syksynä taimet mitattiin ja saatiin taulukossa 11 esitetty tulos.

Taulukko 11. Hoitopaikan vaikutus keväällä 1967 koulittujen rullataimien kasvuun Lappfjärdissä.
Table 11. Effect of growing site on growth of roll plants transplanted in spring 1967 at Lappfjärd.

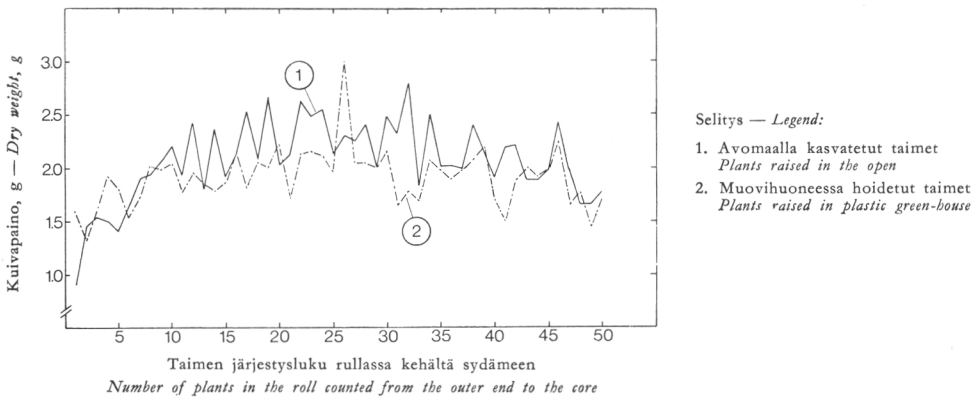
Hoitopaikka *Growing site*	Taimia, kpl *Number of plants*	Taimien pituus, cm *Height of plants, cm*		Kasvu kesällä 1967, cm *Increment in summer 1967, cm*
		Keväällä 1967 *Spring 1967*	Syksyllä 1967 *Autumn 1967*	
Avomaa — *Open nursery*	503	5,5	10,6	5,1
Muovihuone — *Plastic green house*	526	5,0	10,3	5,3

Edellisenä kesänä 1966 mitattiin Imarin taimitarhalla kasvaneiden rullataimien kuivapaino avomaalla ja muovihuoneessa hoidetuista taimista. Tulokset näkyvät kuvasta 17. Avomaataimien paino on keskimäärin suurempi kuin muovihuonetaimien.

Imarissa keväällä 1966 koulituilla männyn rullataimilla suoritettiin istutuskokeita taimitarhan välittömässä läheisyydessä. Taimet istutettiin viikottain koelohkoissa 25 cm:n etäisyydelle toisistaan. Tällöin saatiin taulukon 12 mukaiset tulokset.

Näiden tulosten perusteella ei muovihuone- tai avomaakasvatusta voi asettaa paremmuusjärjestykseen. Elokuun lopussakin istutetut taimet näyttävät samanarvoisilta.

Käytännössä on koulittuja rullataimia alettu hoitaa melkein yksinomaan avomaalla. Vain siementaimien tuottamisessa on suosittu muovihuonekasvatusta, mutta esimerkiksi Metsänjalostussäätiö on jo useita vuosia tuottanut koivun siementaimiakin avomaalla. Vain erikoisolosuhteissa, kuten maan pohjoisosissa, saattaa koulittujen rullataimien hoitaminen muovihuoneissa olla paikallaan.



Kuva 17. Avomaalla ja muovihuoneessa kasvaneiden rullataimien kuivapainon vaihtelu Imarin taimitarhalla syksyllä 1967.
Fig. 17. Variation of dry weight of roll plants grown in the open and in plastic green-house at Imari nursery in autumn 1967.

Taulukko 12. Toukokuussa 1966 koulittujen eri hoitopaikoilla kasvatettujen ja eri aikoina istutettujen rullataimien kasvu istutusta seuraavana kesänä 1967 Imarissa.

Table 12. Increment during summer 1967 of roll plants transplanted in May 1966 and subsequently grown at different places and planted out at different times in 1966 at Imari.

Istutusaika ja hoitopaikka *Planting period and growing site*	Taimia, kpl *Number of plants*	Yhtälö, jossa x = taimen pituus keväällä 1967 y = taimen pituus syksyllä 1967 *Function in which* *x = height of plant in spring 1967* *y = height of plant in autumn 1967*	Edellisen sarakkeen yhtälöä sovellettaessa saatu taimen pituus syksyllä 1967, jos x = 5 cm | x = 10 cm | x = 15 cm *Height of plant in autumn 1967 obtained from the function on the left when* *x = 5 cm* | *x = 10 cm* | *x = 15 cm*		
Kesäkuu 1966 *June 1966*					
Muovihuone — *Plastic green house*	280	y = 1,034x+5,57	10,7	15,9	21,1
Avomaa — *Open nursery* ...	141	y = 1,192x+4,51	10,5	16,4	22,4
Heinäkuu 1966 *July 1966*					
Muovihuone — *Plastic green house*	489	y = 1,226x+3,99	10,1	16,3	22,4
Avomaa — *Open nursery* ...	201	y = 0,992x+5,97	10,9	15,9	20,9
Elokuu 1966 *August 1966*					
Muovihuone — *Plastic green house*	128	y = 1,166x+2,13	8,0	13,8	19,6
Avomaa — *Open nursery* ...	114	y = 1,173x+2,31	8,2	14,0	19,9

Rullataimien koulintaa voidaan luontevimmin suorittaa tavanomaisina koulinta-aikoina keväällä ja syksyllä. Kausityön tasaamiseksi on kuitenkin edullista, jos koulinta-aikaa voidaan pidentää. Käytännössä rullataimien koulinta on siirretty keväällä avomaakoulintojen jälkeen. Syyspuolella on taas päinvastoin usein aloitettu rullakoulinnalla ja jatkettu avomaakoulintana. Järvenpään Metsätaimi Ky:n taimitarhalla koulittiin käsikäärintätaimia rulliin jopa marras—joulukuun vaihteessa vuonna 1966 ja koulinta onnistui erinomaisesti. Sen sijaan Imarin taimitarhan koulinta keskellä talvea vuonna 1966—67 epäonnistui. Tappion syynä saattoi olla taimien epäonnistunut kylmähuonevarastointi.

Koulittavat taimet voidaan luonnollisesti ottaa suoraan kylmävarastosta. Käytännössä on ruvettu nostamaan koulittavat taimet taimipenkistä sitä mukaan, kun koulinta edistyy. Tällöin taimet saavat olla jo kasvuun lähteneitä. Jos ne välittömästi koulitaan kosteaan turpeeseen ja pidetään huolta kosteuden säilyttämisestä rullassa, koulinta onnistuu hyvin. Näin meneteltäessä kylmävarasto on tarpeeton rullataimia tuotettaessa. Kevätkesällä voidaan koulia edellisen kesän alkupuolella kylvettyjä muovihuonetaimia ja loppukesällä jo saman kevään siementaimituotantoa.

Rullataimia ei liene missään koulittu läpi kesän. Kesällä 1967 järjestettiin tätä tavoitteleva kokeilu Järvenpään Metsätaimi Ky:n tiloissa. Männyn siementaimia koulittiin viikottain kesä—heinäkuussa 1967. Taimet oli kylvetty muovihuoneeseen

keväällä 1966 ja saivat seuraavana kesänä kasvaa entisessä paikassaan, mutta avomaalla.

Kesän mittaan taimet kävivät »ylivuotisiksi». Niiden kasvutiheys — noin 800 tainta/m² — aiheutti sen, että ne venähtivät pitkiksi ja niiden juuristo huononi nopeasti loppukesää kohden. Koekoulinnan jatkaminen heinäkuun puolenvälin jälkeen ei ollut enää järkevää. Rullatut taimet hoidettiin avomaalla ja istutettiin metsään saman vuoden lokakuussa. Koska kutakin koulinta-aikaa vastaavia rullia oli useita, istutettiin ne alueelle arvotussa järjestyksessä. Taimien pituus mitattiin istutussyksynä sekä vuotta myöhemmin ja saatiin taulukon 13 mukaiset tulokset.

Taulukko 13. Kesä—heinäkuussa 1967 »ylivuotisista» taimista koulittujen ja saman kesän syksyllä istutettujen rullataimien kasvu istutusta seuraavana kesänä 1968 Järvenpäässä.

Table 13. Increment during summer 1968 of roll plants transplanted in June—July 1967 using over-age seedlings and planted out in the autumn of the same year at Järvenpää.

Taimien koulintaviikko v. 1967 *Transplanting week number year 1967*	Taimia, kpl *Number of plants*	Taimien pituus, cm *Height of plants, cm*		Kesän 1968 vuosikasvain, cm *Height increment in summer 1968*
		Syksyllä 1967 *In autumn 1967*	Syksyllä 1968 *In autumn 1968*	
23	102	13,4	25,1	11,7
24	153	14,6	25,5	10,9
25	180	17,4	26,2	8,8
26	212	14,0	23,0	9,1
27	194	18,2	27,7	9,5
28	198	19,4	27,2	7,8
29	278	20,5	28,6	8,1
Yhteensä — *Total/mean*	1 397	16,8	26,2	9,4

Taimien kuolleisuus seuraavaan syksyyn mennessä oli hyvin vähäistä. Taulukosta havaitaan, että taimien pituus lisääntyy sekä ennen istutusta että vuosi istutuksen jälkeen sitä mukaan, mitä myöhemmin ne koulitaan. Sen sijaan istutuksen jälkeisen kesän vuosikasvain vastaavasti pienenee. Tämä näyttää merkitsevän sitä, että aikaisemmin koulitut taimet, jotka aluksi koulinnan vaikutuksesta jäävät jälkeen, pystyvät koulintakesänä rullissa kasvaessaan virittämään silmunsa seuraavaksi kesäksi paremmin kuin myöhemmin koulitut taimet, joskin niiden kokonaispituus näyttää jäävän vähän jälkeen.

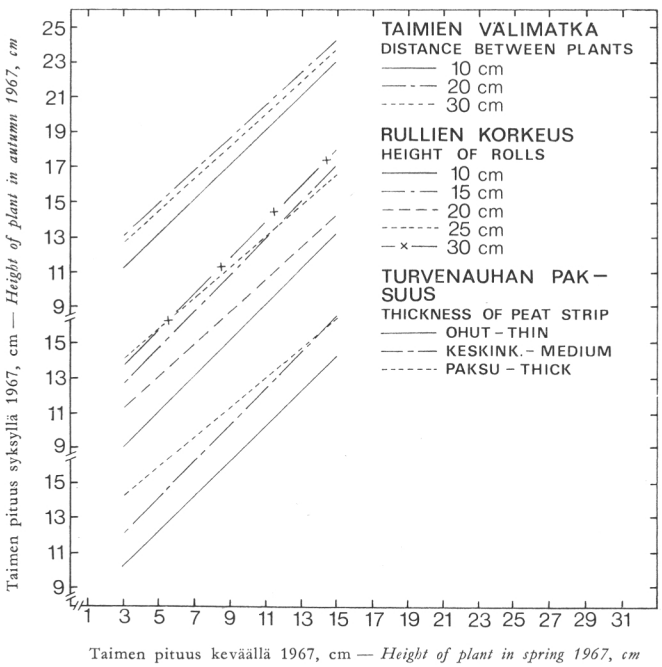
Silmävaraisesti todettiin, että mitä myöhemmin taimet oli koulittu, sitä tanakammilta ja puutuneemmilta ne vaikuttivat.

Avomaakoulinnassa, joka nykyään pyritään suorittamaan koulintakonein, on riviväli usein 22 cm, mutta taimiväli noin 7 cm. Tällöin yhdelle taimelle jää runsaasti kasvutilaa. Juuristo voi melko vapaasti hakeutua haluamaansa suuntaan ja samoin maanpäälliselle versolle jää kasvutilaa. Tässä tapauksessa neliömetrille mahtuu 65 tainta. Jos ne olisivat yhtä väljään kasvutilaan sijoitettuja paakkutaimia, olisi vastaa-

van pyöreän paakun läpimitta lähes 14 cm. Käytännön metsänviljelyssä ei näin suuripaakkuisia taimia ole juuri mahdollista käyttää, lähinnä kuljetusvaikeuksien vuoksi.

Taimen maanpäällisen ja maanalaisen osan kasvusuhteet on pidettävä tasapainoisena. Pieni juuripaakku merkitsee periaatteessa sitä, että taimen verson tulevat kehittymismahdollisuudet jäävät vähäisiksi. Mitä suuremmiksi taimet paakuissaan päästetään kasvamaan, sitä lähempänä on vaara, että niiden tasapainoinen kasvu häiriytyy. Ei liene tutkittu sitä, mikä on taimien verson ja juuriston optimikasvutila. Käytännössä tämä asia on hoidettu siten, että on tarkkailtu taimien kehitystä ja toimitettu ne istutuksille ennemmin kuin selvää kasvun taantumista on havaittu. Näin on menetelty rullataimienkin kohdalla, jolloin on havaittu, että rullaan koulittujen männyn taimien sopiva pituus metsään vietäessä on noin 10—15 cm ja kuusien noin 25 cm.

Lisäämällä turvenauhan paksuutta, taimien välimatkaa ja rullan korkeutta voidaan hoidettaville taimille antaa paremmat varttumisen edellytykset, kuten nähdään kuvasta 18. Taimet koulittiin keväällä 1966 ja ne kasvoivat rullissa vielä seuraavankin kesän, jonka päätyttyä ne mitattiin. Aineisto sisälsi 2 355 tainta. Turvenauhan paksuus tarkoittaa seuraavia arvoja: ohut 0,1—0,3 cm, keskinkertainen 0,5—1,0 cm ja paksu 1,0—1,5 cm.



Kuva 18. Rullan kasvutilan vaikutus keväällä 1966 2-vuotiaina koulittujen taimien pituuteen Imarin taimitarhalla 1967.

Fig. 18. Effect of the size of the growth space in the roll on height increment of the plants from spring 1966 (when the seedlings were transplanted at the age of 2 years) to autumn 1967 at Imari nursery.

Käytännön toiminnassa turvenauhan keskipaksuus on vaihdellut taimitarhoilla 0,4—1,1 cm. Näin ohuen turvenauhan käyttäminen tietää varsin suurta nettotiheyttä pinta-alayksikköä kohden laskettuna, kuten nähdään taulukosta 14.

Taulukko 14. Esimerkki eri paksuiseen turvenauhaan koulittujen rullataimien nettotiheydestä.
Table 14. Example of net density of roll plants transplanted on peat strips of different thickness.

Taimitarha *Nursery*	Turvenauhan paksuus, cm *Thicknes of peat strip, cm*	Taimia, kpl/m² *Number of plants/m²*
Imari (I)	0,4	1 667
Suonenjoki (VIII)	0,6	1 111
Röykkä (VII)	1,1	606

Rullataimien maanpäällisille versoille voidaan järjestää jonkin verran suurempi kasvutila kuin maanalaisille osille. Rullan keskustassa on pieni alue, esirullaa vastaava, vapaana ilman taimia. Lisäksi voidaan rullia aseteltaessa hoitopaikalle vaikuttaa versojen käyttöön jäävän kasvutilan suuruuteen. Kun hoitopaikalle asetetun rullan ympärille jätetään tilaa, niin versot voivat jonkin verran taipua rullasta ulospäin ja saavat näin lisää valoa.

Vierekkäin ladottujen rullien väliin jää vapaata tilaa. Rullat on asetettu säännölliseen kolmioasentoon, kun kolmen lähekkäisen rullan keskipisteiden yhdysjanat muodostavat tasasivuisen kolmion. Neliöasennossa neljän lähekkäisen rullan keskipisteiden yhdysjanat muodostavat neliön. Rullien teoreettinen kenttätiheys on kolmioasennossa 0,907 ja neliöasennossa 0,785. Käytännössä rullajoukon tiiviys on usein näitä arvoja pienempi, mutta voi olla suurempikin, jos rullat tiukataan lomittain painamalla toisiaan vasten.

Röykän taimitarhalla mitattiin muovihuoneen 7 metriä leveästä penkistä kylvöä varten vierekkäin ladottujen rullien kenttätiheys. Tulokset olivat taulukon 15 mukaiset.

Jäätyneiden rullien kenttätiheys on jäänyt pienemmäksi, koska tällaisten rullien tiukkaaminen toisiaan vasten on vaikeampaa.

Taulukko 15. Esimerkki vierekkäin ladottujen taimirullien kenttätiheydestä seitsemän metriä leveässä penkissä Röykän taimitarhalla.
Table 15. Example of field density of plant rolls set out on a 7 m wide transplant bed at Röykkä nursery.

Rullan tila ladottaessa *Condition of roll at transplanting*	Rullien korkeus, cm *Height of rolls, cm*	Kenttätiheys *Field density*
Sula — *Not frozen*	8,5	0,95
Sula — *Not frozen*	17,0	0,95
Jäätynyt — *Frozen*	8,5	0,91

Jos rullat asetellaan kentälle ohjerimojen rajoittamiin penkkeihin, lisääntyy kenttätiheys penkin leveyden kasvaessa. Seuraava esimerkki on Imarin taimitarhalta.

Penkin leveys m	Rullien kenttätiheys
1,0	0,72
1,5	0,74
2,0	0,75

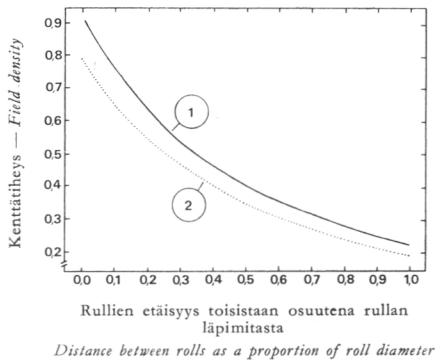
Käytännössä rullat yleensä asetellaan kentälle pienen välimatkan päähän, esimerkiksi rullan halkaisijan puoliskon etäisyydelle toisistaan. Tällöin rullien kenttätiheys huomattavasti laskee. Kuvasta 19 nähdään kenttätiheyden muuttuminen tällaisessa tapauksessa.

Kun tunnetaan rullien kenttätiheys ja kasvupaakun poikkileikkausala, voidaan laskea hoitolohkossa neliömetrillä kasvatettavien taimien lukumäärä.

$$M_1 = \frac{100\,000\ q}{(100 + i)\ l \cdot n}\ \text{tainta/m}^2, \text{ jossa} \qquad (14)$$

M_1 = rullataimien lukumäärä hoitolohkossa, tainta/m²
q = taimirullien kenttätiheys, esim. 0,8
i = esirullaukseen ja rullan päättämiseen kuluvan muovin osuus prosentteina yhteen rullaan käytetyn muovin pituudesta, %
l = taimien koulintaväli rullassa, cm
n = valmiista rullasta mitatun turvekerroksen paksuus, cm

Kaikista rulliin koulituista taimista ei kehity istutuskelpoisia. Siihen vaikuttavat lähtökohtana olleen taimimateriaalin ominaisuudet ja koulintaa seuraavat olosuhteet. Istutuskelpoisiksi luokiteltujen taimien määrä saattaa vaihdella sen mukaan, lähetetäänkö taimet metsään rullissa vai rullista leikattuina yksittäistaimina. Jälkimmäisessä tapauksessa saattaa taimisaanto yhdestä rullasta jäädä alhaisemmaksi kuin edellisessä,



Selitys — *Legend:*

1. Rullat kolmioasennossa — *Rolls in units of 3*
2. Rullat neliöasennossa — *Rolls in units of 4*

Kuva 19. Rullien kenttätiheyden riippuvuus rullien välimatkasta.
Fig. 19. Field density of rolls vs. distance between rolls.

koska tällöin suoritetaan tarkempi lajittelu. Leikattaessa nimittäin nähdään myös juuriston tila, mikä helpottaa arvostelua.

Kormun kokeissa vuonna 1968 pyrittiin välttämään koulinnan yhteydessä syntyviä vaurioita. Monet esimerkit olivat aikaisemmin osoittaneet, että liian runsaalla tai epätasaisella peruslannoituksella oli aiheutettu rulliin koulittujen taimien kuolemista. Tämän takia Kormun taimia koulittaessa sijoitettiin kasvualustaan aluksi vain kalkki ja fosfori, joita oli vaikea lisätä rulliin myöhemmin. Typpi- ja kalilannoitteet sekä hivenaineet annettiin myöhemmin kasteluveden mukana. Elokuussa 1968 todettu taimikuolleisuus jäi vähäiseksi, kuten nähdään alla olevasta asetelmasta.

	Taimia	
	kpl	%
Terveitä taimia	329 445	97,7
Taimen latvassa vaurioita	2 178	0,7
Taimen latva poikki	3 948	1,2
Kuolleita taimia	1 385	0,4
Yhteensä	336 956	100,0

Taimien latvan vaurioituminen ja mahdollisesti poikkilatvaisuuskin saattaa johtua kesäkuun lopussa liian voimakkaasti lannoitetulla kasteluvedellä suoritetusta sadetuksesta. Tällöin nimittäin taimien neulaset kävivät kärjestään rusehtaviksi, jopa osa vuosikasvainten neulasista kuoli.

Talvehtimista seuraavana keväänä 1969 laskettiin istutuksiin menevistä taimieristä joka kymmenennestä rullasta kelvollisten taimien lukumäärä. Aineisto käsitti kaikkiaan 5 220 rullaa. Tulokseksi saatiin 30,9 tainta/rulla. Arvostelu oli ankara. Kun rulliin oli alunperin koulittu 40 tainta, tämä merkitsi sitä, että istutuskelpoisten taimien saanto oli vain 77,3 %. Kuolleita taimia ei erikseen laskettu, mutta talven ei katsottu paljonkaan lisänneen kuolleisuutta. Istutuskelvottomuus arvioitiin pääasiassa taimen heiveröisyyden perusteella. Koska taimista laskutettiin istutuskelpoisten taimien lukumäärän perusteella, haluttiin varmistua siitä, että vastaanottaja oli tyytyväinen. Valituksia ei laskutusperusteiden takia tullutkaan. Saattaa olla, että noin 15 prosentin lajitteluvähennys olisi ollut riittävä. L e h t o (1966) mainitsee avomaakoulinnan taimisaantoa arvosteltaessa olevan syytä vähentää tuloksista keskimäärin 10—20 prosenttia tuhojen takia.

Taimirullien kuljettaminen istutuksille sellaisinaan merkitsee tarpeettoman kasvualustan, lähinnä rullan sydänosan ja kuolleiden sekä istutuskelvottomien taimien, siirtoa metsään. Lisäksi istuttajan ratkaistavaksi jää, miten menetellään rullassa olevien huonokuntoisten taimien kanssa.

Tämän vuoksi on kokeiltu rullataimien lajittelua. Tämä on voitu tehdä istutusalueella nyhtämällä kuolleet ja kelvottomat taimet ehjästä rullasta ennen istutusta. Istuttaja on myös voinut avata rullan nauhaksi ja leikellä tai irrottaa kelvolliset taimet istutusvakkaan. Rullataimia on lajiteltu myös taimitarhalla. Tämän lajittelun etuna on pidettävä sitä, että eri istutuksille lähtevä taimiaines on silloin lajiteltu yhtäläisin perustein. Työ lisää kuitenkin taimitarhan kustannuksia.

Aluksi pyrittiin taimitarhalajitteluun kehittämään koneellisia apuneuvoja, mm. rakennettiin kone, jonka päättömälle hihnalle rulla avautui nauhaksi. Leikkaaja erotteli taimet toisistaan puukolla tai paineilmakäyttöisellä työkalulla. Pakkaajan tehtäväksi jäi koota taimet paketiksi. Pakkausta varten oli oma koneensa ja pahvikehikoita. Yhden keskimäärin 77 tainta sisältävän paketin tekeminen vei kahden henkilön työryhmältä aikaa 10,6 cmin/taimi.

Rullataimien leikkaus ja lajittelu käsin osoittautui edullisimmaksi. Menetelmä oli seuraava: toinen työntekijöistä avasi rullan pöytämäiselle tasolle ja toinen kulki hänen perässään leikellen taimet puukolla toisistaan erilleen. Ensin mainittu henkilö kokosi sitten kelvolliset taimet pöydältä ja sitoi ne juurenniskasta kiinni 50 taimen nipuiksi. Tällä menetelmällä on tuntityönä ehditty lajitella ja pakata työpäivässä noin 5 000 tainta työntekijää kohden. Tulos on ollut lähes kolminkertainen siihen nähden, mikä saavutettiin koneellistamiskokeilujen aikana.

Yhteen taimisäkkiin Konttinen (suull. 1977) on sijoittanut 1,2 kertaa enemmän leikattuja rullataimia kuin paljasjuurisia. Aronen (suull. 1977) sen sijaan on saanut mahtumaan yhteen taimisäkkiin vain 0,3—0,4 siitä, mitä paljasjuurisia. Konttinen perustelee omaa esimerkkiään sillä, että rullataimet ovat pienempiä ja niiden juuristo ei harota, niin kuin paljasjuurisilla taimilla. Arosen kertoimen pienuuteen vaikuttaa sen sijaan hänen kasvattamiensa taimien suuri juuripaakku.

Jos leikatut taimet paketoidaan tiiviisti siten, että latvat jäävät vapaiksi, voidaan niitä säilyttää pystyasennossa vierekkäin 1—2 viikon ajan. Tällöin niiden poikkileikatut juurenpäät arpeutuvat ja niissä alkaa muodostua uusien lisäjuurien silmuja (Nisula 1970 ja 1972), minkä jälkeen ne ovat otollisia istuttaa.

5. METSÄNVILJELYN TEKNIIKKA

51. Rullataimien kuljetus

Metsänviljelyssä istutukseen liittyvät tekniset toimet ulottuvat taimitarhalta lähtevistä kuljetuksista varsinaiseen istutukseen metsässä.

Taimien kuljetukset voidaan jakaa moottori- ja ihmisvoimaiseen kuljetukseen. Vain poikkeustapauksissa taimitarhalta lähtevä kuljetusajoneuvo pääsee istutuspalstalle saakka. Usein nopea autokuljetus joudutaan vaihtamaan hitaammaksi traktorikuljetukseksi, jota saatetaan vielä joutua jatkamaan ihmisvoimin. Istutusalueen sijainti metsäalueella ja sen koko sekä käytettävissä olevat kuljetusresurssit vaikuttavat ratkaisevasti kuljetusmenetelmän valintaan. Tämän takia käytännössä vain harvoin on valittavissa optimaalisin kuljetusmenetelmä. Usein on tyydyttävä olosuhteiden määräämiin ratkaisumalleihin.

Rullataimikuormien taimitiheys on paakkujen vuoksi verrattain vaatimaton ja tainta kohden laskettu paino suhteellisen suuri.

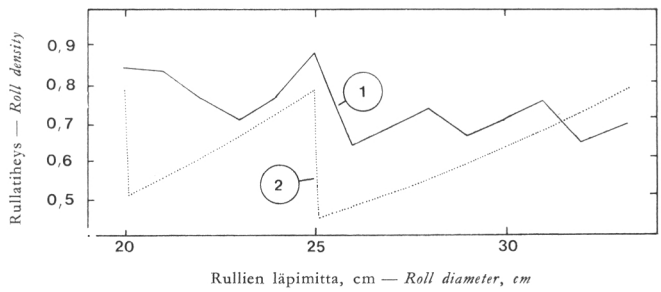
Mitä hankalampiin paikkoihin rullataimia joudutaan kuljettamaan, sitä enemmän haittaa painosta on. Tämän takia olisi syytä tehdä mahdollisimman pieniä paakkuja. Hyvissä kasvuolosuhteissa turvepaakusta suurin osa on vettä. Taimien kuljetuspainoa voidaan siis keventää järjestämällä ennen kuljetusta tapahtuva kastelu vasta istutusvarastolla, jos siihen on mahdollisuuksia.

Aluksi taimirullat kuljetettiin tilapäisin menetelmin vanhoissa taimilaatikoissa. Myöhemmin siirryttiin kehikkokuljetukseen. Kehikoissa taimet voitiin kuljettaa välilastauksitta istutuspalstalle saakka. Kehikkokuljetusta suunniteltaessa tarkoituksena oli kehittää menetelmä, jossa taimet voitaisiin siirtää kehikossa istutuskoneen lavetille käsivarastoksi. Istutuskoneen kehittelyssä ei kuitenkaan ole toistaiseksi onnistuttu.

Kuljetuskehikot olivat kolmihyllyisiä rakennelmia, joissa neliön muotoisen hyllyn pinta-ala oli yksi neliömetri. Nuojuan taimitarhalla lastattiin yhteen kehikkoon 76 taimirullaa. Suurkuljetuksissa lastattiin perävaunulliseen autoon jopa 52 kehikkoa, kaksi rinnakkain ja kaksi päällekkäin.

Kehikkokuljetuksessa hankalinta on tyhjien kehikoiden palauttaminen. Lisäksi kehikkokuljetuksessa tiheys on melko alhainen; kehikoiden väliin jää tyhjää tilaa ja rullien koko vaikuttaa rullatiheyteen, kuten selviää kuvasta 20.

Suurimpaan taimitiheyteen on kaukokuljetuksessa päästy lavakuljetuksella. Tähän kuljetusmenetelmään kuuluu vaihtolava, jossa on noin 30 cm:n etäisyydellä toisistaan olevia päällekkäisiä ja sivusta avonaisia välilavoja. Kuormaa tehtäessä vaihtolava lasketaan maahan ja kuormaus tapahtuu kummaltakin sivulta käsin. Kun taimirullat tiuka-



Kuva 20. Samanläpimittaisten rullien teoreettinen rullatiheys kuljetuskehikossa, joka on varustettu 1 m²:n hyllyillä.

Fig. 20. Theoretical roll density for rolls with the same diameter in transport frame equipped with 1 m² trays.

taan lavalle tiiviisti toisiaan vasten, voidaan rullien lavatiheyttä nostaa aina arvoon 0,95 saakka (vrt. siv. 58). Tällaisessa kuormassa on 721 tainta/m³ ja niiden paino on 258,5 kg/m³, jos yhdessä rullassa on 40 tainta, rullan läpimitta 24,5 cm ja paino 3,8 kg. Neuvostoliitossa on lavakuljetustekniikkaa ideoitu pitemmälle (Lesoposadotšnij . . . 1974).

Rullia on yritetty kuljettaa myös kyljellään, mutta näin pinotut rullat eivät kestä vahingoittumatta pitkää kuljetusta. Lavakuljetus, jossa rullat ovat pystyasennossa, on turvallisin taimille ja sitä on hyvä soveltaa myös metsäpään traktorikuljetuksissa.

Kuljetusten kokonaisaika muodostuu matka- ja terminaaliajasta. Matka-ajalla tarkoitetaan varsinaiseen ajamiseen, kuormattuna ja tyhjänä, kulunutta aikaa sekä mahdollisia ajotaukoja. Terminaaliaika tarkoittaa kuormaus- ja purkausaikaa sekä odotusaikoja terminaalissa.

Moottorikuljetuksen lastausta ja purkausta suorittavien henkilöiden tehoajan menekki kuormaa kohden voidaan laskea seuraavasta kaavasta.

$$r_7 = \frac{r \cdot s_2 \cdot t_1 \cdot u}{v} \text{ cmin/kuorma, jossa} \qquad (15)$$

r_7 = ajoneuvon lastaajien ja purkajien yhteen laskettu tehoajan menekki, cmin/kuorma
r = kuormatilan suuruus, m³
s_2 = lastausmahto, tainta/m³
t_1 = kuormausaste, esim. 0,9
u = yhteen laskettu lastaus- ja purkausaika, cmin/rulla
v = ykkösrullassa olevien taimien lukumäärä, tainta/rulla

Ajoneuvon kuljetusaika on tällöin laskettavissa yhtälöstä

$$R_2 = [\frac{6000\ \alpha}{r \cdot s_2 \cdot t_2 \cdot \beta} + \frac{u}{v \cdot \gamma}]\ \delta \text{ cmin/taimi, jossa} \qquad (16)$$

R_2 = ajoneuvon tarvitsema kokonaisaika, cmin/taimi
a = edestakainen ajomatka, km
r = kuormatilan suuruus, m^3
s_2 = lastausmahto, tainta/m^3
t_2 = hyötykuorman osuus kuormatilasta ajomatkan aikana, esim. 0,4
β = ajonopeus edestakaisen ajomatkan aikana, km/h
u = yhteen laskettu lastaus- ja purkausaika, cmin/rulla
v = ykkösrullassa olevien taimien lukumäärä, kpl/rulla
γ = terminaalissa olevien lastaajien (purkajien) lukumäärä, henkilöä
δ = odotusaikaa vastaava korjauskerroin, esim. 1,30

Kormun kokeiluissa lastauksen ja purkauksen suorittivat samat kolme henkilöä. Tällöin lastaus- ja purkausmatka vaihtolavan syrjästä mitattuna oli 2—2,6 m ja lastaajat kantoivat käsissään kerrallaan kaksi rullaa. Noin neljännes ajasta käytettiin taimirulliin tarttumiseen tai niiden lavalle asettamiseen. Muu osa ajasta kului rullien noutomatkalla. Aineisto käsitti 2 724 rullaa. Rullaa kohden tehoajat muodostuivat seuraaviksi.

Lastaus taimitarhalla	15,1 cmin/rulla
Purkaminen tien varressa	14,7 cmin/rulla

Osa yllä mainitusta aineistosta eli 135 rullaa siirrettiin tien varresta traktorikuljetukseen. Tällöin traktori perävaunuineen pääsi taimivaraston kylkeen. Taimet purettiin istutusvarastoon yhtä lähelle. Rullat siirreltiin kaksittain ja saatiin seuraavat tulokset.

Lastaus tien varressa	8,6 cmin/rulla
Purkaminen metsässä	5,1 cmin/rulla

Ajomatka Kormusta istutusalueelle oli 32 km. Keskinopeudet mitattiin havainnointimenetelmällä (N i s u l a 1962) ja havaintovälinä oli 10 cmin. Kaikkiaan taimirullia ajettiin 6 kuormallista ja saatiin seuraavat tulokset.

	Auton keskinopeudet, km/h	
	kuormattuna	tyhjänä
Asfalttipintainen valtatie	71,7	74,7
Sorapeitteinen maantie	46,1	51,9
Sorapeitteinen tilustie	17,7	19,4

J u k k o l a ja S a v o l a i n e n (1973) esittävät yksityiskohtaisia tietoja puutavara-autojen ajonopeudesta eri tieluokissa ja eri ajomatkoilla.

Traktorikuljetuksen nopeudesta kirjoittajalla ei ole omia mittauksia. K a h a l a (1972) ilmoittaa puutavaran kuormatraktoreiden kulkunopeudeksi metsässä kuormattuna 2,4 km ja tyhjänä 3,0 km/h. Näitä tuloksia voitaneen soveltaa arvioitaessa taimien metsäkuljetuksen traktoriaikoja.

Vain hyvin harvoin on mahdollista kuljettaa taimirullia edes menosuuntaan täysinä kuormina, paluumatka on aina tyhjänäajoa. Tämän johdosta koko ajomatkan aikaisen keskimääräisen hyötykuorman osuus (t_2) kuormatilasta laskettuna on edullisimmassakin tapauksessa korkeintaan puolet. Jakelukuljetuksen aikana hyötykuorma purkausten myötä pienenee.

Ajoneuvokohtaisen kokonaisajan yhtälössä (16) oleva lisäystermi (δ), joka on kokonaisajan ja tehoajan erotus, ilmoittaa mm. ajotaukojen, terminaalissa odottelun ja valmistelutyön määrän. Näiden aikojen suuruus riippuu paljon kulloisestakin tilanteesta ja on etukäteen vain arvioitavissa. Kormun kuljetuskokeilussa tähän kulutettiin aikaa 22,6 min/kuorma.

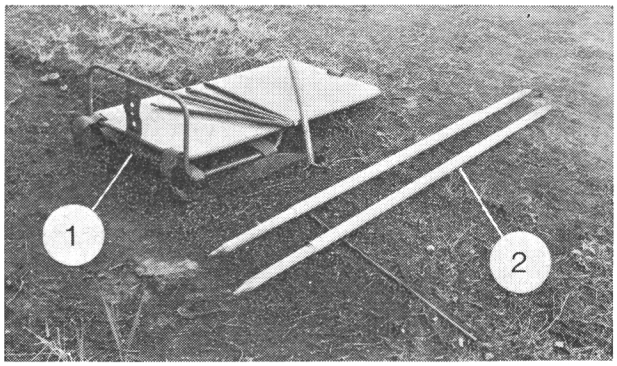
Moottoroidun kuljetuksen jälkeen taimet on vietävä ihmisvoimin istutuspaikalle. Pieniä eriä voidaan siirtää kantorepussa tai -vartaissa. Kantorepussa voi olla 4—8, vartaissa 4 rullaa. Työn saattaa suorittaa erityinen kantaja. Vasta tämän jälkeen taimet joutuvat istuttajalle. Hänen taakkansa muodostuu yleensä rullasta tai paristä. Varsinaiseen istutukseen liittyy tietenkin myös kuljetusta, mutta tämä istutuskuopalta toiselle kuljettaminen lasketaan istutusaikaan.

Ihmisvoimin kuljetettaessa ajanmenekki voidaan laskea seuraavasta kaavasta.

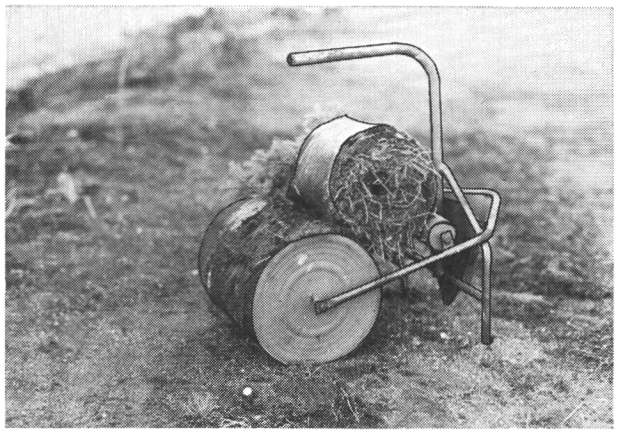
$$r_8 = 6\,000\ (\frac{\varepsilon_1}{\zeta_1} + \frac{\varepsilon_2}{\zeta_2})\ \text{cmin/taimi, jossa} \qquad (17)$$

r_8 = taimien ihmisvoimaisen kuljetuksen tehoaika, cmin/taimi
ε_1 = taimien ihmisvoimaisen joukkokuljetuksen (esim. kartoreppu) edestakainen noutomatka istutusvarastolta, m/taimi
ε_2 = istuttajan kantovakalla (esim. kanto- ja purkausteline) kuljettamien taimien edestakainen noutomatka istutusvarastolta, m/taimi
ζ_1 = taimien ihmisvoimaisen joukkokuljetuksen (esim. kantoreppu) keskimääräinen kulkunopeus edestakaisella noutomatkalla, m/h
ζ_2 = istuttajan kantovakkaa (esim. kanto- ja purkuteline) käyttäessään saavuttama keskimääräinen kulkunopeus taimien edestakaisella noutomatkalla, m/h

Rullataimien kantamista varten on suunniteltu erikoisreppu ja -vartaat (kuva 21) sekä rullataimien kanto- ja purkuteline (kuva 22), josta istuttaja työn kuluessa yksitellen irrottaa maahan pantavat taimet.



Kuva 21. Rullataimien kuljetukseen suunniteltu kantoreppu (1) ja -vartaat (2).
Fig. 21. Carrying rack (1) and sticks (2) for transport of roll plants.



Kuva 22. Rullataimien kanto- ja purkausteline.
Fig. 22. Combination of a carrying rack and an unloading device.

Taulukossa 16 esitetään tuloksia taimien kantamisesta.

Oheisessa tutkimuksessa taimia kuljetettiin laikuttamattomalla ja loivasti kumpuilevalla mäntymaalla, jossa raivauksen jälkeen on ollut kohtalaisesti hakkuutähteitä. Appelrothin (1972) aineiston perusteella lasketut arvot ovat peräisin auratuilla tai äestetyillä alueilla tehdyistä mittauksista. Appelrothin kokeissa taimet kuljetettiin rullina Salla- ja Nisula-vakalla ja hänen mainitsemillaan muovi- tai TT-vakalla siirreltiin leikattuja rullataimia.

Taulukko 16. Taimien kantamiseen liittyviä suoritusarvoja istutustyömaalla.
Table 16. Work data connected with carrying of plants at planting site.

Kantolaite *Type of carrier*	Varaston etäisyys, m *Distance from storage site, m*	Nouto-kertoja, kpl *Number of basket refillings*	Taimien nouto *Collecting plants*			
			A *)	B *)	m/taimi *m/plant*	cmin/taimi *cmin/plant*
Kantoreppu — *Carrying rack*	141,2	36	3,0	2,5	1,3	3,1
Varras — *Carrying stick*	100,0	30	3,0	2,7	1,0	2,3
Kanto- ja purkausteline — *Combination of a carrying rack and unloading device*	22,4	564	2,3	1,6	0,9	3,3
Appelroth (1972)						
Salla-vakka — *Salla-basket*	64,2	26	3,3	3,2	2,6	4,9
Nisula-vakka — *Nisula-basket*	29,7	32	3,7	2,2	1,2	3,2
Muovivakka — *Plastic basket*	38,3	108	3,4	1,7	1,5	5,6
TT-vakka — *TT basket*	44,3	91	3,3	2,0	1,8	5,4

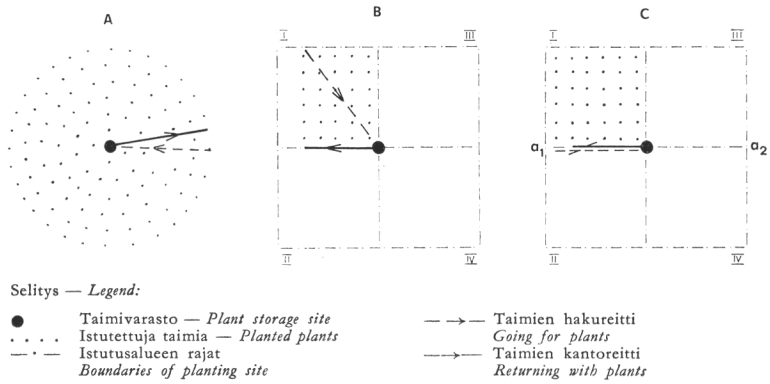
*) A = pelkkä kävelynopeus, km/h — *walking speed only, km/h*
B = kävelynopeuteen on laskettu mukaan laitteen täyttö ja repun purkausaika, km/h — *walking speed includes loading of carrier, and for carrying rack, also its unloading, km/h*

Vertailussa oletettiin, että rullissa ja vakoissa olisi aina sama määrä eli 50 tainta. Näinhän ei ole käytännössä, minkä vuoksi lukuja vertailtaessa ne on korjattava taimien lukumäärää vastaavaksi. Repussa oli kantokerralla keskimäärin 4,4 ja vartaissa 4 rullaa. Repun lastaamiseen ja purkamiseen kului 25,6 cmin/rulla. Vastaava aika vartaissa oli 12,1 cmin/rulla. Vartaitten käyttö rullien kannossa lienee siis edullista lyhyillä matkoilla. Rullien asettaminen kanto- ja purkaustelineeseen vei aikaa 46,2 cmin/rulla. Usein työntekijät myös laskivat rullissa olevien taimien lukumäärän, johon kului 87,3 cmin/rulla. Tällöin rullissa oli keskimäärin 29,4 tainta.

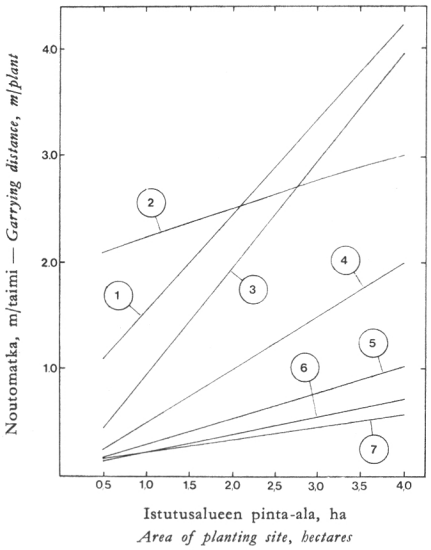
Herranen (1970) on esittänyt joitakin tietoja rullataimien kuljetuksesta Pohjois-Suomessa.

Taimien ihmisvoimainen kuljetus tulisi järjestää siten, että siirtelyaika tainta kohden jäisi vähäiseksi. Tähän päästään, jos siirtomatka suunnitellaan lyhyeksi ja lastaus- ja purkausajat terminaaleissa pyritään samoin pitämään pieninä. Kysymystä siirtomatkan vaikutuksesta voidaan tarkastella teoreettisten mallien avulla.

Kuvassa 23 annetaan kolme esimerkkiä istutusjärjestyksestä. Kuviossa A istutus etenee taimivarasto keskipisteenä yhä laajempien ympyröiden kehille. Malli tullee harvoin kysymykseen käytännössä. Kuviossa B istutus etenee neliölohkoissa I—IV vuoron perään kolmion muotoisena liikkumiskuviona siten, että kolmion hypotenuusa muodostaa hakutien istutusvarastolle ja toinen kateeteista kantomatkan istutusrivin alkuun. Kuvion C toteutus on lähinnä käytäntöön soveltamisen arvoinen ratkaisu. Siinä taimet noudetaan selkälinjaa a_1—a_2 myöten ja istutetaan silmukoina selkälinjalta. Varsinkin kuvan B ja C mukaisissa tapauksissa olisi mielekästä varata kutakin silmukkaa varten sama määrä taimia, esim. 50 kappaletta. Tällöin istutusjärjestystä voidaan soveltaa teorian mukaisesti. Kuviota C sovellettaessa lienee parasta edetä istutusvarastolta lähtien päittäisinä parisilmukoina, jolloin istutus etenee selkälinjalta a_1—a_2 neliölohkoryhminä I—II ja III—IV.



Kuva 23. Kolme istutusjärjestysmallia.
Fig. 23. Three models for planting order.



Kuva 24. Taimien noutomatka istutusjärjestysmalleissa, jos rullissa on 50 tainta.

Fig. 24. Collection distance for plants in the planting order models when rolls contain 50 plants.

Selitys — *Legend:*

	Istutusjärjestysmalli, ks. kuva 23 *Model of planting order, see Fig. 23*	Rullia, kpl — *Number of rolls*	
		Esikuljetuksessa *In preliminary transport*	Istuttajan kantamana *Carried by planter*
1.	A	·	1
2.	B	·	1
3.	C	·	1
4.	C	2	1
5.	C	4	1
6.	C	6	1
7.	C	8	1

Istuttajan noutomatka supistuisi olemattomiin, jos erityinen kantaja veisi taimet tai ne toimitettaisiin moottoriajoneuvolla istutuslenkkien alkuun selkälinjalle a_1—a_2. Istuttaja voi tietenkin itsekin noutaa taimet istutusvarastolta. Tällöin hän tuo rullan tai pari kerrallaan tai käyttää reppu- tai varraskuljetusta apunaan.

Kuvasta 24 nähdään rullataimien noutomatkan pituus noudatettaessa kuvassa 23 esitettyjä istutusjärjestyksiä. Jokaisessa mallissa istuttaja joutuu aina vähän matkaa, käsivarastolta istuttamisen aloittamiskohtaan, kuljettamaan kerrallaan yhtä rullaa kanto- ja purkamistelineeseen asetettuna. Joukkokuljetuksen luonteisesta esikuljetuksesta istutusvarastolta käsivarastoon huolehtii istuttaja itse tai erityinen kantaja. Esikuljetuksesta on esitetty malli viitenumeroissa 4—7. Esikuljetuksen jälkeen muodostuu sopiviin kohtiin selkälinjalla a_1—a_2 pieniä käsivarastoja, joista sitten alkaa varsinaiseen istutustyöhön liittyvä istuttajan kuljetus. Käsivarastot on edullisinta perustaa esikuljetukseen liittyvien istutuslenkkiparien puoliväliin selkälinjalle a_1—a_2. Tällöin istuttajan keskimääräinen noutomatka jää lyhimmäksi.

Seuraavaan asetelmaan on laskettu istuttajan kanto- ja purkaustelineessä kuljettamien taimien noutomatka eri esikuljetustapauksissa.

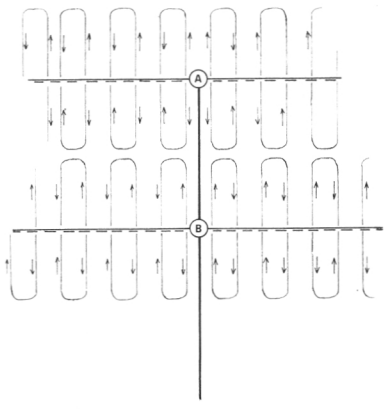
Esikuljetuksen rullasisältö kpl	Istuttajan noutomatka m/taimi
2	0,04
4	0,06
6	0,12
8	0,16

Muu osa ihmisvoimaisesta taimien noutomatkasta kuuluukin joukkokuljetuksen luonteiseen esikuljetukseen.

Kuvan 24 esitys, samoin kuin yllä oleva asetelmakin, perustuvat siihen edellä mainittuun olettamukseen, että yhdessä rullassa olisi 50 istutettavaa tainta. Mikäli näin ei ole, on esitettyjä noutomatkan arvoja muunnettava taimien lukumäärän käänteissuhteessa.

Käytännössä taimirullat kuljetetaan usein moottoriajoneuvoilla istutusvarastolle, josta vasta alkaa niiden siirtely ihmisvoimin. Silmukkoina istutettaessa traktori kuljettaa taimet metsään kuvan 25 runkotietä A—B myöten. Käytännössä monivivahteiset yksityistapaukset vain harvoin antavat mahdollisuuden optimoida kuljetusmatkat lyhimmiksi mahdollisiksi. Kuvan 24 mukaisiin taimikohtaisiin noutomatkoihin pääsemiseksi tulee ilmeisesti tehdä runsaasti suunnittelutyötä. Sivulla 66 esitetystä taulukosta 16 havaitaankin, että noutomatkat tainta kohden käytännössä ovat olleet varsin pitkiä. Sopivilla järjestelyillä noutomatkoja voitaneen lyhentää, joskin kuvan 24 esittämiä teoreettisia arvoja on ehkä vaikea käytännössä saavuttaa. Näitä arvoja voitaneen kuitenkin käyttää tavoitteina, esimerkiksi verrattaessa istutusjärjestyksiä ja metsänviljelymateriaaleja keskenään.

Esitettyjä noutomatkoja voidaan käyttää arvioitaessa ihmisvoimaisesti suoritettavaan noutomatkaan tarvittavaa aikaa. Tällöin on tunnettava taimien kuljettajan keskimääräinen kävelynopeus (vrt. kaava r_8) ja terminaaliaika. Taakan terminaaliaika on matkasta riippumaton. Jos terminaaliaika on laskettu mukaan kävelynopeuteen, on huolellisissa laskelmissa käytettävä juuri tätä kävelynopeutta, jossa tämä seikka on otettu huomioon.



Kuva 25. Istutusjärjestystä osoittava kaavio, jossa istutuslenkit sijaitsevat traktoritien AB suuntaisesti. A ja B ovat istutusvarastoja.

Fig. 25. Scheme for planting order in which planting routes are situated parallel to the tractor-road AB. A and B are storage sites for plants.

Kun kuvaajia jatketaan origoa kohti, voidaan kuvasta 24 havaita, että taimien noutomatkat ovat lähes yhtä pitkät kaikissa viitenumeroiden 4—7 mukaisissa tapauksissa alle 0,5 ha suuruisilla istutusalueilla eli istutuskaistoilla, jotka ovat alle 25 metriä leveitä traktoritien A—B suunnassa, kuva 25. Kun lasketaan vastaavat noutoajat, viitenumeron 4 mukainen istutusjärjestysmalli saattaa olla malleja 5—7 edullisempi suuremmallakin istutusalueella, sillä useamman kuin kahden rullan esikuljetus alkaa vaatia varras- tai reppukuljetusta. Tällöin terminaalissa joudutaan kuluttamaan kuljetustavasta toiseen siirtymisen takia enemmän aikaa kuin pelkän kanto- ja purkamistelineessä kuljetuksen yhteydessä, kuten aiemmin jo todettiin.

52. Rullataimien istutus

Alunperin suunniteltiin rullataimimenetelmää kehitettäessä myös varsinaisen istutustyön koneellistamista. Taimien sijoittuminen nauhalle antoi tähän virikkeen. Syöttö jatkuvalta taiminauhalta istutuskoneen automaattisiin maahanpanoelimiin näytti kiehtovalta mahdollisuudelta. Tarkoitus oli ohjata tätä kehitystyötä siten, että istutuskone pystyisi toimimaan ainakin keskivaikeassa suomalaisessa metsämaastossa. Erilaisten ideoiden pohjalta rakennettiin vuosina 1966—1972 kahdeksan erilaista prototyyppiä (vrt. esim. Nisula ja Mäki-Nisula 1967 ja Nisula 1969). Mikään yrityksistä ei onnistunut. Eräässä (Nisula 1969) oli terä, joka nopeasti edestakaisin värähtelemällä teki rullataimien paakun muotoisen ja syvyisen reiän. Ratkaisu näytti lupaavalta. Tämä terä toimi myös erittäin kivisessä ja hakkuutähteisessä metsämaastossa.

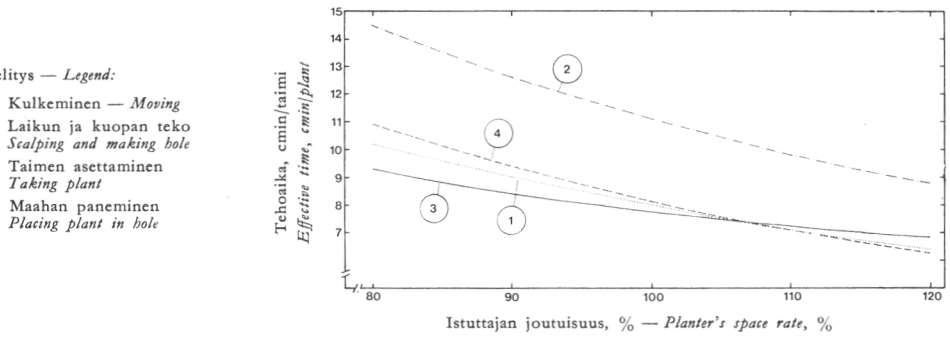
Istutuskoneiden kehittelyssä ei ole edistytty niin pitkälle, että rullataimia pystyttäisiin istuttamaan koneellisesti. Tämän vuoksi taimet on istutettu käsin kourukuokalla tehdyn kuopan laitaan.

Istutuksen työmaa-aika koostuu pääosan vievästä varsinaisesta istutusajasta ja taimien ihmisvoimaisesta kuljettamisesta sekä lepo- ja tupakkatauoista.

Varsinaisen istutuksen tehoajan menekki sisältää kulkemisen taimelta toiselle (1), istutuslaikun ja -kuopan tekemisen (2), taimen ottamisen kanto- ja purkamistelineeltä (3) sekä taimen maahan panon kuopan tiivistämisineen (4).

Kuvassa 26 nähdään Kormun kokeissa mitatun 17 469 rullataimen aineistoon perustuva esitys, jossa istuttajan joutuisuutta ja varsinaisen istutustyön työvaiheaikoja verrataan keskenään. Tulos viittaa siihen, että työvaiheaikojen keskinäinen suhde muuttuu joutuisuuden vaihtuessa, esimerkiksi joutuisuuden vähentyessä laikun- ja kuopanteko saattavat viedä suhteellisesti enemmän aikaa, mikä tuntuu varsin luonnolliselta.

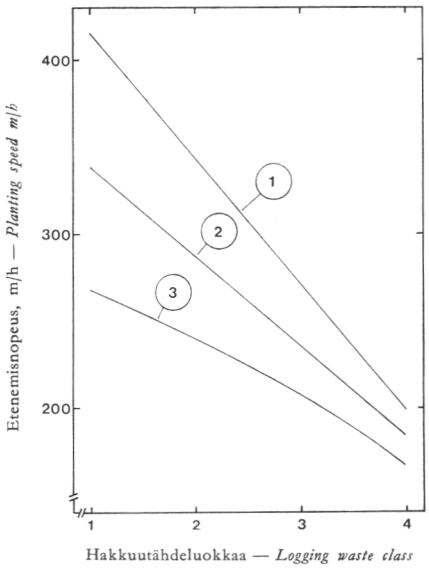
Kormun kokeiluissa männyt istutettiin pääasiassa ohutturpeiselle, vähän kumpuilevalle puolukkatyypin kankaalle, josta paljaaksihakkuun yhteydessä saman vuoden talvella oli hakattu 160 m^3 mäntyä hehtaarilta. Työvaikeustekijöiden luokittelussa käytettiin silmävaraista asteikkoa. Tällöin kivisyyteen sovellettiin kolmea luokkaa: 1) kivisyys ei haittaa istuttamista, 2) haittaa ja 3) haittaa paljon. Hakkuutähteiden vaikeus kuvattiin neljänä luokkana: 1) hakkuutähteet eivät haittaa, 2) haittaavat vähän, 3) haittaavat paljon ja 4) haittaavat erittäin voimakkaasti. Maan laatu, kasvillisuuden ja maaston vaikutus luokiteltiin myös, mutta aineistoa kerääntyi pääasiassa vain alueilta, joilla haittoja ei esiintynyt. Aineisto jäi sen takia riittämättömäksi.



Kuva 26. Varsinaisen istutustyön joutuisuuden ja työvaiheaikojen suhde.
Fig. 26. Work phase times vs. space rate in planting.

Kuvassa 27 esitetään kivisyyden ja hakkuutähteiden vaikutus varsinaisen istutustyön etenemisnopeuteen. Keskimääräinen istutusaika, 35 cmin/taimi, vastaa etenemisnopeutta 343 m/h eli suunnilleen kivisyysluokkaa 1 ja hakkuutähdeluokkaa 2. Tuloksia on pidettävä ainoastaan suuntaa antavina, koska aineisto on kerätty vain tietyntyyppiseltä metsämaalta.

Kuvan 27 graafisia lukuarvoja on käytetty muunnettujen istutusaikojen laskemiseen. Tulokset nähdään taulukosta 17. Muunnettu aika vastaa sitä aikaa, jonka istuttaja olisi kuluttanut, jos hän olisi istuttanut jokaisen taimensa kuvasta 27 saatavien tasoitettujen arvojen mukaisesti eli tarkkailtavana olevan työryhmän jäsenten keskijoutuisuudella, jota taulukossa on merkitty arvolla 100. Mitattujen ja muunnettujen aikojen perusteella on voitu laskea mieskohtaiset joutuisuudet. Tulokset on laskettu tehoajoista.



Kuva 27. Kivisyyden ja hakkuutähteiden vaikutus varsinaisen istutustyön etenemisnopeuteen tehoaikana kivisyysluokissa 1—3.
Fig. 27. Effect of stoniness and logging waste on planting speed during effective work time in stoniness classes 1—3.

Taulukko 17. Rullataimien istutustyön joutuisuuden ja etenemisnopeuden vaihtelu työntekijöiden kesken.

Table 17. Variation of space rate and speed of roll plant planting work among workers.

Istuttaja *Planter*	Taimia, kpl *Number of plants*	Vars. istutusaika, cmin/taimi *Planting time, cmin/plant*		Joutuisuus, % *Space rate, %*	Isutustyön etenemisnopeus, m/h *Planting speed, m/h*
		Mitattu aika *Recorded time*	Muunnettu aika *Converted time*		
1	2 499	30,2	33,6	111	397
2	4 112	31,7	34,7	109	379
3	659	36,6	36,0	98	328
4	1 130	35,6	38,4	108	337
5	524	40,9	39,3	96	293
6	187	37,0	40,9	110	324
7	974	49,1	36,0	73	244
8	2 681	41,3	36,3	83	291
9	1 949	30,2	33,0	109	397
10	2 754	34,4	33,7	98	348
Kaikkiaan — *Total/mean*	17 469	35,0	35,0	100	343

Kaikki taulukossa 17 mainitut istuttajat olivat yhtiöiden vakinaisia metsätyömiehiä, joilla oli pitkäaikaista kokemusta metsänistutuksesta. Taimien istutusetäisyys oli 2 metriä, koska miehille oli annettu tällainen ohje ja sen noudattamista myös valvottiin. Mikäli kuvan lukuarvoja käytetään laskelmissa, joissa istutusväli vähän poikkeaa oletetusta, voitaneen suuremmitta virheittä käyttää kuvan arvoja istutusvälien suhteella korjaten.

Appelrothin (1972) palkkaperusteselvittelyn avulla on ollut laskettavissa taulukosta 18 nähtävä tulos.

Näiden tulosten perusteella suoraan rullasta istutettujen ja turvenauhasta repimällä irrotettujen tai leikattujen rullataimien istutustyö olisi likipitäen yhtä nopeata kuin paljasjuuristen taimien.

Kunnollisen rullataimen juuripaakku on usein varsin kookas, nauhalta revittynä piirirajaltaan hieman epämääräinen, mutta leikattuna täsmällisempi. Tällainen taimi tarvitsee tilavan istutuskuopan. Paljasjuurisen taimen juuristo on muodoltaan usein harottava. Kunnolla maahan pantuna sekin vaatii kookkaan istutuskuopan. Urakkatyössä on helpompaa sulloa paljasjuurinen taimi kuin rullataimi pieneen istutuskuoppaan, mutta kunnolla istutettaessa lienee paljasjuurista tainta ja rullatainta varten tehtävä suunnilleen samansuuruinen istutuskuoppa. Isoon kuoppaan on usein helpompi sijoittaa valmiiksi litteäjuurinen rullataimi kuin harottava paljasjuurinen taimi. Ehkä juuri tämän perusteella on ymmärrettävissä Appelrothin saamat suunnilleen yhtä suuret istutustuotokset.

Kaikki Appelrothin (1972) mittaukset on tehty auratulla tai äestetyllä maalla pitkin vakoa. Eriteltynä kuluisi raivaukseen 3,8 cmin ja laikun tekoon 15,1 cmin tainta kohden. Nämä työt eivät kuulu vakoonistuttamisaikoihin, mutta Kormussa mitatuissa ajoissa ne ovat mukana.

Paljasjuuristen männyn 1 + 1-vuotisten taimien käsinistutusnopeudeksi Appelroth (1969) mainitsee pari lukua, 138 ja 146 m/h. Tällöin istutus suoritettiin laikuttamattomaan metsämaahan.

Taulukko 18. Taimien ja taimien kantotavan vaikutus varsinaisen istutustyön etenemisnopeuteen APPELROTHin (1972) palkkaperusteselvittelyjen avulla laskettuna.

Table 18. Effect of the way in which plants are carried and of the type of plants used on planting speed calculated from APPELROTH's (1972) data.

Selitys *Explanation*	Taimia, kpl *Number of plants*	Varsinaisen istutustyön eteneminen, m/h *Planting speed, m/h*		
		Normaaliaikana *During normal time*	Normaaliaikana, jos kaikki taimet olisi mitattu kivisyysluokassa 2 *During normal time, if all the plants had been measured in stoniness class 2*	Työmaa-aikana *During work-place time*
Salla-vakassa kannetut, kasvupakkauksessaan olevat rullataimet — *Roll plants in their rolls carried in Salla basket*	2 732	591	615	276
Muovivakassa kannetut, nauhalta repimällä irroitetut rullataimet — *Roll plants torn off their peat strip, carried in plastic basket*	6 437	574	600	297
Muovivakassa kannetut, nauhalta leikkaamalla irroitetut rullataimet — *Roll plants cut off the peat strip, carried in plastic basket*	9 842	548	571	294
TT-vakassa kannetut, 1+1-vuotiset paljasjuuriset taimet — *1+1 bare-rooted plants carried in TT basket*	6 959	585	594	323

Kormun aineisto sisältää 732 työmaatuntia. Työpäivän pituus päivittäin oli 5,8 h vaihdellen 5,7—6,0 h. Näennäisesti lyhyt työpäivä johtuu siitä, että miehet kuljetettiin työmaalle joka päivä kotoaan, noin 40 km päästä. Tähän työajan osaan ei tutkimuksessa ole kiinnitetty huomiota.

Taulukosta 19 selviää istutustyön eteneminen työmaa-aikana. Ruokatuntia ei ole laskettu työmaa-aikaan kuuluvaksi.

Taulukko 19. Eri istuttajien etenemisnopeus rullataimia istutettaessa.

Table 19. Planting speed of different workers during work-place time.

Istuttaja *Worker*	Taimia, kpl *Number of plants*	Istutustyön etenemisnopeus työmaa-aikana, m/h *Planting speed during work-place time, m/h*
1	10 571	208
2	12 133	246
3	8 568	210
4	10 488	229
5	9 895	247
6	10 053	247
7	7 279	244
8	8 343	291

Työmaa-ajasta 0,63 oli varsinaisen istutustyön tehoaikaa, joka vaihteli työntekijöillä 0,52—0,77. Kun varsinaisen istutuksen, rullan asettamisen kanto- ja purkaustelineelle, taimien laskemisen, niiden repussa tai vartaissa kuljettamisen ja taimien istutusvarastosta noutamisen tehoajat laskettiin Kormun kokeissa yhteen, havaittiin näiden muodostavan 0,87 työmaa-ajasta. Loppuosa kului tupakka-, lepo- ja hukka-aikoihin. Miehet saivat urakkapalkkaa ja tekivät verrattain lyhyttä työpäivää itse istutustyömaalla.

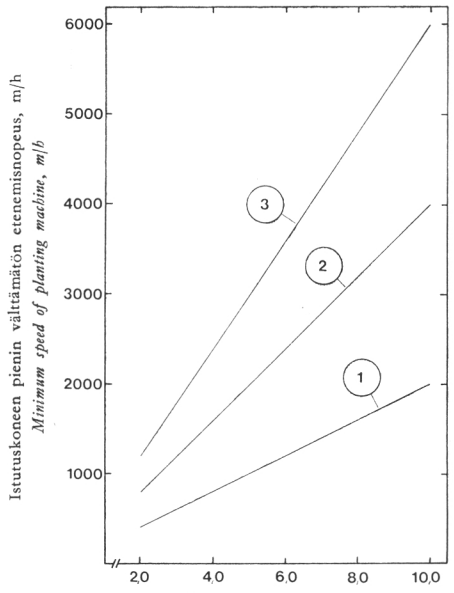
Kun istutustyön etenemisnopeus tunnetaan, voidaan yksittäisen taimen istuttamisaika laskea kaavoista:

$$r_9 = \frac{6\,000\,\eta}{\vartheta} \text{ cmin/taimi ja} \tag{18}$$

$$R_3 = \frac{6\,000\,\eta}{\iota} \text{ cmin/taimi, joissa} \tag{19}$$

r_9 = taimien varsinaisen istuttamistyön tehoaika, cmin/taimi
R_3 = taimien istuttamisen työmaa-aika, cmin/taimi
η = taimien välimatka istutusrivillä, m
ϑ = varsinaisen istutustyön etenemisnopeus tehoaikana, m/h
ι = istutustyön etenemisnopeus työmaa-aikana, m/h

Istutuksen etenemisnopeuden avulla on mahdollista vertailla käsin- ja koneistutuksen taloudellisuutta. Jos tunnetaan koneellisen ja ihmisvoimin istutuksen kustannukset työmaatuntia kohden, voidaan kuvan 28 avulla määritellä, mikä istutuskoneen vähäisimmän etenemisnopeuden on oltava, jotta istutuskoneen käyttö olisi yhtä taloudellista kuin käsin istuttaminen.



Kuva 28. Istutuskoneen pienin välttämätön etenemisnopeus työmaa-aikana kone- ja ihmisvoimaisen istutustyön kustannussuhteiden muuttuessa kolmessa ihmisvoimaisen istutuksen etenemisnopeustapauksessa: 1. 200 m/h, 2. 400 m/h ja 3. 600 m/h.

Fig. 28. Minimum speed of the planting machine during work place time expressed as the cost ratio of mechanized and manual planting work with 3 different manual planting speeds: 1. 200 m/h, 2. 400 m/h, 3. 600 m/h.

6. TAIMISTOJEN KASVU JA KEHITYS

Rullataimimenetelmän lopullinen käyttöarvo riippuu ratkaisevasti siitä, onko rullataimien metsänviljelyarvo vähintäin sama kuin paljasjuuristen taimien, ja voidaanko rullataimia käyttämällä istutuskautta pidentää keskikesää kohden. Käsityksen saamiseksi tästä on rullataimilla suoritettu koeviljelyjä pääasiassa keskikesällä, vaikka biologinen tarkastelu ei varsinaisesti kuulukaan tämän tutkimuksen piiriin.

Tutkimuksessa tarkasteltiin nimenomaan rullataimien elossapysymistä ja niiden pituuskasvua sekä tehtiin havaintoja niiden juurien levittäytymisestä. Paljolti on jouduttu tukeutumaan toisten tutkijoiden saamiin tuloksiin.

Suomessa on istutustaimikoiden kehitystä selvitetty verrattain vähän. Valtasen (1974) tutkimus lienee yhden istutuskohteen pitkäaikaisin seurantatutkimus. Siinä on vuodesta 1962 lähtien tarkkailtu neljän pohjoissuomalaisen istutusalueen vuotuista kehitystä. Pohtila (1972) on seurannut paljasjuuristen ja rullataimien ensimmäisten vuosien kasvua auratuilla alueilla Pohjois-Suomessa. Leikola ja Huuri (1974) esittävät alustavia tuloksia paljasjuuristen taimien sekä rulla- ja turveruukkutaimien kehityksestä Etelä-Suomen runkotutkimuskohteissa.

Metsähallituksen toimeksiannosta ovat Pöyhtäri (1970) sekä Hokka ja Herranen (1976) koonneet tietoja taimistojen kehityksestä metsäauratuilla uudistusalueilla Pohjois-Suomessa.

Istutustaimistojen inventointien tuloksia ovat julkaisseet Kallio (1965), Yli-Vakkuri ym. (1969), Solin (1970), Etholén (1972) ja Leikola ym. (1977). Yli-Vakkuri ym. ja Solin tarkastelivat 6—8 vuotta sitten istutettuja taimistoja, joissa he taimien välimatkojen perusteella laskemalla arvioivat alkuperäisen istutustiheyden. Vertaamalla sitten alueella olevien istutustaimien määrää näin laskettuun tulokseen päästiin selville taimien elossaoloprosentista. Kummassakin tutkimuksessa kuvataan graafisesti myös taimistojen pituuskasvua. Solin (1970) erottaa lisäksi haitatta kasvaneiden ja vaurioituneiden taimien pituuden kehityksen.

Taulukosta 20 nähdään tämän tutkimuksen koe-erät, joiden maantieteellinen sijainti on esitetty aikaisemmin kuvassa 1 (s. 16).

Tutkimusryhmän tekemät istutukset on inventoitu yksin taimin lukien, mutta käytännönmiesten suorittamat sen sijaan linja-arvioiden.

Pohjois-Suomen alueelle A—C taimet siirrettiin Imarin taimitarhalta (I) kesäkuun lopulla 1966. Rullat varastoitiin kosteisiin painanteisiin. Kesän mittaan ne joutuivat

Taulukko 20. Rullataimien koeistutusten aineisto.
Table 20. Material for experimental plantings of roll plants.

Istutusalueen tunnus ja järjestysnumero *Code and number of planting site*	Istutusaika *Planting period*	Istutuksen suorittaja *Planted by*	Taimia, kpl *Number of plants*
A (1—4)	Heinäkuu 1966 — *July 1966*	Tutkimusryhmä — *Research team*	3 701
B (1—3)	Elokuu 1966 — *August 1966*	Tutkimusryhmä — *Research team*	3 345
C (1—3)	Syyskuu 1966 — *September 1966*	Tutkimusryhmä — *Research team*	1 229
D (5—7)	Heinäkuu 1967 — *July 1967*	Käytäntö — *Large scale operation*	24 000
E (8—27)	Kesä—syyskuu 1968 — *June—September 1968*	Tutkimusryhmä — *Research team*	10 157
F (28—51)	Elokuu 1968 — *August 1968*	Käytäntö — *Large scale operation*	92 000
G (52—53)	Touko—kesäkuu 1969 — *May—June 1969*	Käytäntö — *Large scale operation*	80 000

mm. kaatosateiden aiheuttamiin tulviin, ja oman onnensa varaan jätettynä niiden kunto koko ajan huononi.

Nämä alunperin 2 + 0 -vuotiaat avomaataimet koulittiin rulliin istutuskesän toukokuussa. Koulittaessa taimien keskipituus oli noin 5—6 cm. Koulinta samoin kuin istutuskin suoritettiin tarkoituksellisesti taimia lajittelematta, joten kaikki elävät taimet tulivat aina mukaan. Istutusvaiheessa kokenut istuttaja ennen taimen maahanpanoa luokitteli taimet niiden juuriston ja maanpäällisen osan perusteella. Tulos nähdään taulukosta 21.

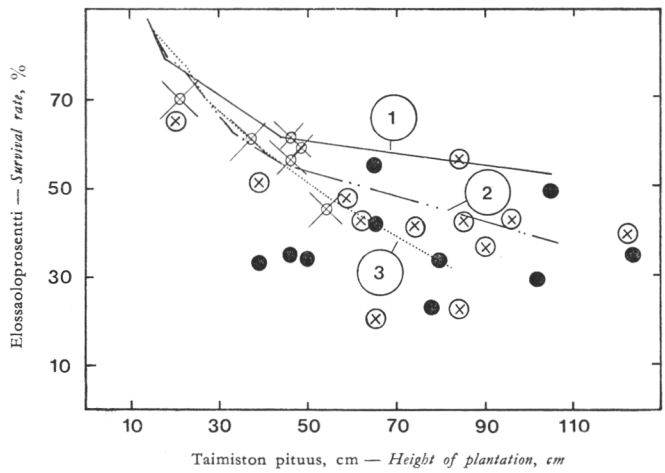
Mahdollisesti juuri taimien huonontumisen vuoksi elo- ja syyskuussa tehdyt istutukset epäonnistuivat melko pahoin. Ehkä heinäkuun viljelyt olisivat onnistuneet myös vähän paremmin, jos taimimateriaali olisi tuotu suoraan taimitarhalta ja hylättäviksi luokitellut taimet olisi jätetty istuttamatta.

Taulukko 21. Kesäkuussa 1966 istutusalueille siirrettyjen ja hoitamatta jätettyjen rullataimien kunnon muuttuminen ja elossaoloprosentit Pohjois-Suomessa syksyllä 1967.
Table 21. Changes in condition and survival rate percentage by autumn 1967 of North Finnish roll plants transported to the planting site in June 1966 and subsequently neglected.

Taimien kunto *Condition of plants*	Istutusalueen tunnus ja istutusaika *Code of planting site and planting period*					
	A (1—4) Heinäkuu 1966 *July 1977*		B (1—3) Elokuu 1966 *August 1966*		C (1—3) Syyskuu 1966 *September 1966*	
	Taimien jakauma, % sekä elossaoloprosentit syksyllä 1967 (sulkeissa) *Distribution of plants, % and survival in autumn 1967 (in brackets)*					
Hylättävät — *Rejectable*	15	(79)	27	(62)	43	(52)
Huonot — *Poor*	28	(86)	31	(68)	31	(58)
Keskinkertaiset — *Fair*	34	(87)	27	(75)	18	(67)
Hyvät — *Good*	18	(86)	12	(81)	6	(61)
Erittäin hyvät — *Very good*	5	(88)	3	(82)	2	(74)
Kaikkiaan — *Total/mean*	100	(85)	100	(70)	100	(57)

Taimet istutettiin metsäauran tekemään jälkeen aikana, jolloin ei tiedetty olisiko suositeltavinta istuttaa vaon pohjaan, vaon luiskaan, pientareeseen vai palteeseen. Tämän takia kokenut istuttaja sai harkintansa mukaan asettaa taimen parhaaksi katsomaansa paikkaan, jopa aurauksen ulkopuolellekin. Myöhemmin havaittiin, että vaon pohja ja luiska olivat huonoja viljelykohteita, sillä tulva tai routa melkein tyystin tappoivat niihin istutetut taimet.

Kuvassa 29 esitetään Pohjois-Suomen taimistojen elossaoloprosentteja omien sekä toisten tutkijoiden selvitysten perusteella. Yleinen ilmiö näyttää olevan, että iän, ts. pituuden lisääntyessä taimia jatkuvasti kuolee. Tähän seikkaan on erityisesti Valtanen (1974) kiinnittänyt huomiota.



Selitys — *Legend:*

- Kennotaimet — *Paper-pot seedlings*
- Rullataimet — *Roll plants*
- Paljasjuuriset taimet — *Bare-rooted plants*

} Hokan ja Herrasen (1976) aineiston perusteella — *In Hokka's and Herranen's (1976) material*

1. Rullataimet istutusalueilla A (1—3) vrt. taul. 20.
   Roll plants on planting sites A (1—3) cf. Table 20.
2. Rullataimet istutusalueilla A (1—4) vrt. taul. 20.
   Roll plants on planting sites A (1—4) cf. Table 20.
3. Paljasjuuriset taimet suurella avoalalla Savukoskella (V_1) ja Pudasjärvellä (V_2) Valtasen (1974) esitysten perusteella laskettuna
   Bare-rooted plants on a large open site in Savukoski (V_1) and Pudasjärvi (V_2), calculated from Valtanen's (1974) material

Kuva 29. Metsäauratuille alueille istutettujen taimistojen onnistuminen Pohjois-Suomessa eri lähteiden mukaan. Valtasen (1974) tulokset laikutetuilta ja kulotetuilta alueilta.

Fig. 29. Performance of plantations established on ploughed sites in North Finland according to various sources. Valtanen's (1974) results are from scarified and burnt sites.

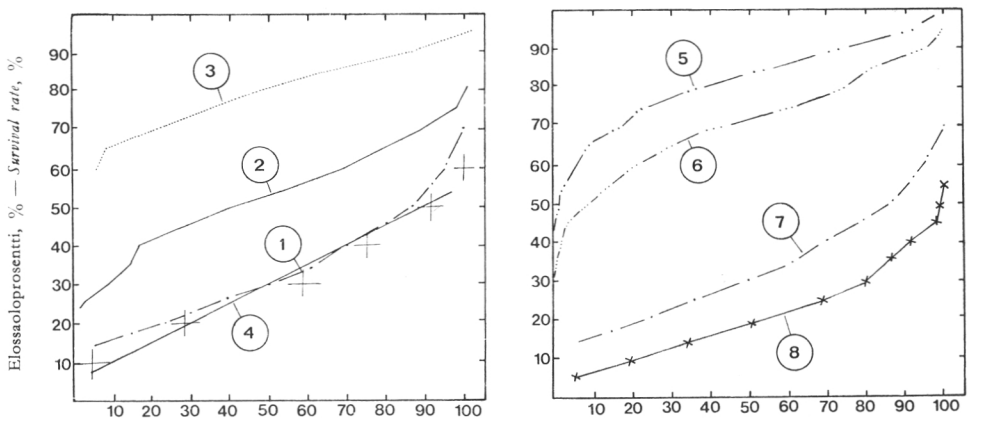
Taulukko 22. Pohjois-Suomen istutusalueiden maa-analyysi ja Viljavuuspalvelu Oy:n suositus.
Table 22. Soil analysis results for North Finnish planting sites, and recommendations made by Viljavuuspalvelu Oy (Soil testing service).

Analysoitu aineisto *Material analysed*	Maalaji *Soil type*	Lajitteiden läpimitta alle 0,02 mm, % *Particle size below 0,02 mm, %*	Vaihtuva kali (K), mg/dm³ *Exchangeable potassium (K), mg/dm³*	Helppoliuk. fosfori (P), mg/dm³ *Easily soluble phosphorus (P), mg/dm³*	Kokonaistyppi (N), % *Total nitrogen (N), %*
Petäjäselkä (A 1)	sorainen hietamoreeni *gravelly moraine of fine sand*	18,0	20	6,0	0,11
Ahmakuusikko (A 2)	hiekkamoreeni *sandy moraine*	6,1	20	3,3	0,08
Kuohunki (A 3)	hietainen hiesu — *silt with fine sand*	61,1	40	4,4	0,07
Arppee (A 4)	sorainen hiekkamoreeni *gravelly moraine of sand*	15,5	30	3,8	0,11
Viljavuuspalvelu Oy:n suositus — *Recommended range (according to Viljavuuspalvelu Oy)*		·	100—150	10—20	0.8—1,4

Arppeen (A 4) istutustyömaalla rullataimet ovat joka suhteessa menestyneet paremmin kuin kolmella muulla alueella (A 1—3). Taulukosta 22 nähdäänViljavuuspalvelu Oy:n suorittama maa-analyysi.

Kuvassa 30 nähdään rullataimien elossaolojakauma istutusalueilla A (1—4) ja B 1. Diagrammien muodostamiseksi istutusrivit jaettiin 20 tainta käsittäviksi istutusrupeamiksi. Näiden elossaoloprosentit laskettiin ja tulokset pantiin suuruusjärjestykseen. Kuvaan on otettu mukaan S o l i n i n (1970) kuivien kankaiden aineisto (S_1) ja sen perusteella laskettu tasoitussuora koulittujen paljasjuuristen männyntaimien istutuksesta Lapin piirimetsälautakunnan alueen eteläosasta. Rullataimien ja paljasjuuristen taimien iät, lähes 10 vuotta, vastaavat lähimain toisiaan. Ahmakuusikon (A 2) ja Kuohungin (A 3) arvot on yhdistetty niiden päällekkäisyyden takia. Petäjäselän (A 1) kuvaajan poikkeavan muodon on arveltu johtuvan siitä, että istutusalueen alapää on ollut männyn kasvulle edullisempi kuin yläpää.

Mielenkiintoista on havaita kuvaajien samansuuntaisuus, mutta eritasoisuus. Kuvaajien nousukulma määräytyy taimien laadun ja istutusrupeamien (S o l i n i n tapauksessa istutusalueiden) hajonnan perusteella. Kuvaajien nousun, muodon ja aseman avulla voidaan vertailla istutusalueita keskenään. Elossaolokuvaajat näyttävät



Istutusrupeamien (paitsi S o l i n i n osalta istutusalueiden) lukumäärän kumulatiivinen jakauma, %
Cumulative distribution of planting operations (and of planting sites, in S o l i n's material), %

Istutusrupeamien lukumäärän kumulatiivinen jakauma, %
Cumulative distribution of planting operations, %

Selitys — *Legend:*

1. Petäjäselkä (A 1) v. 1973 — *Petäjäselkä (A 1) in year 1973*
2. Ahmakuusikko (A 2) ja Kuohunki (A 3) v. 1973
   Ahmakuusikko (A 2) and Kuohunki (A 3) in year 1973
3. Arppee (A 4) v. 1973 — *Arppee (A 4) in year 1973*
4. S o l i n i n (1970) kuivien kankaiden aineisto (S_1)
   S o l i n's (1970) material for dry heathy woodlands (S_1)
5. Petäjäselkä (A 1) v. 1967 syksyllä — *Petäjäselkä (A 1) in autum 1967*
6. » v. 1968 » — » » *1968*
7. » v. 1973 » — » » *1973*
8. Petäjäselkä (B 1) v. 1973 » — *Petäjäselkä (B 1) in autum 1973*

Kuva 30. Taimien elossaolojakauma Pohjois-Suomessa.
Fig. 30. Distribution of survival rates of plants in North Finland.

tavoittelevan nuorissa taimistoissa (5 ja 6) normaalijakaumaa, mutta myöhemmin muistuttavat muodoltaan suoraa viivaa. Suoraviivaisuus merkitsee sitä, että kaikkia elossaoloprosentteja on yhtä paljon. Myös normaalijakaumaa lähestyvissä tapauksissa näyttää suoraviivainen tasoittaminen esimerkiksi x:n arvojen, 20—80 %, kohdalla olevan mahdollista.

Kaikkien Pohjois-Suomeen metsäauran jälkeen tehtyjen rullataimi-istutusten (A 1—4) elossaoloarvot ovat jääneet S o l i n i n (1970) laskelmien auraamattomalle maalle istutettujen paljasjuuristen taimien lukuarvoja paremmiksi.

Eteläsuomalaisiin aineistoihin E (8—27) ja F (28—51) sisältyvät rullataimityypit on esitelty aikaisemmin (N i s u l a 1972), mutta ne kerrataan tässä lyhyesti siltä osin, kun niitä on otettu tähän tutkimukseen. Taimet kasvatettiin yksivuotiaaksi muovihuoneessa ja koulittiin rulliin tämän jälkeen, paitsi ns. pakatut taimet (23), jotka muovihuoneen jälkeen joutuivat avomaakoulintaan ja vasta sitten koulittiin rulliin 1 + 1 -vuotiaina, tai puoli-puoloset (22), jotka koulittiin kesken kasvuaan jo samana kesänä. Taimien istutusajat nähdään taulukosta 23 (s. 82).

Vanhat rullataimet (20) koulittiin käsin käärien rulliin joulukuussa 1966, talvehtivat lumen alla ja kasvoivat kesän 1967 avomaalla. Taimet talvehtivat sitten vielä kerran lumen alla ja siirrettiin istutukseen kesällä 1968.

Pakatut rullataimet (23) ovat edellisen ryhmän perustaimia, mutta koulittiin rulliin vasta 1 + 1-vuotiaina, ohueen, noin 4—5 mm paksuiseen, turvenauhaan, jopa 200 tainta yhteen rullaan. Pakkaamisella toivottiin taimien juuriston kehittyvän paremmaksi. Juuriston kuntoutuminen oli kuitenkin hidasta ja taimet siirrettiin istutukseen vasta loppukesällä 1968.

Varsinaiset rullataimet (24) koulittiin rulliin toukokuussa 1968 ja vietiin istutuksille heinäkuun puolen välin jälkeen samana kesänä. Nämä taimet ovat siis vuotta nuorempia kuin edellisten ryhmien taimet.

Pienet rullataimet (27) olivat koulittaessa puolta lyhyempiä kuin edelliset eli vain 5—7 cm pituisia, muuten niitä oli käsitelty samoin kuin edellä mainittuja. Taimet istutettiin elokuun puolesta välistä alkaen 1968.

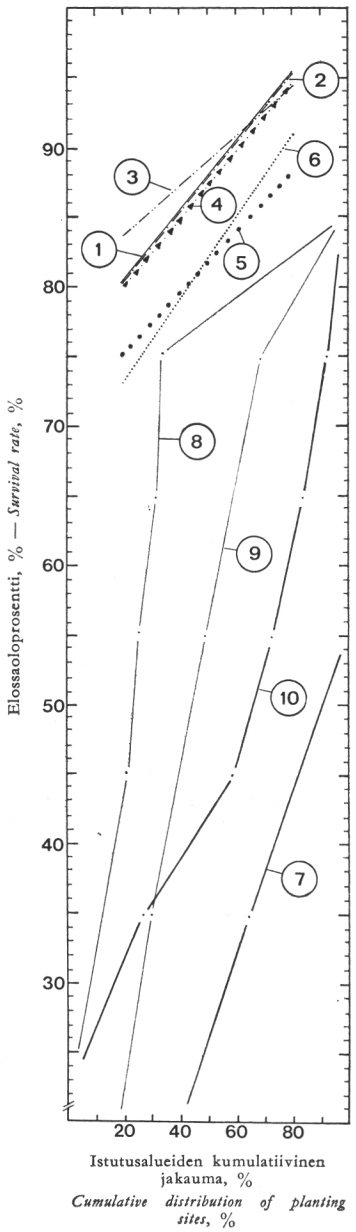
Puoli-puoloset (22) koulittiin kesken muovihuonekasvatusta kesällä 1967 rulliin, jotka talvehtivat lumen alla ja jotka istutettiin muita rullataimia nuorempina eli vähän toista vuotta kylvön jälkeen, kesäkuun puolesta välistä lähtien.

Aineistoon E (8—27) kuuluvien istutusten koejärjestelyä on aikaisemmin selostettu (N i s u l a 1972). Taimet istutti tällöin kesä—syyskuussa istutusalueelta toiselle jatkuvasti kiertävä tutkimusryhmä 19 omistajan maalle, sinne aikaisemmin saman vuoden keväänä käytännönmiesten toimesta istutettujen paljasjuuristen (11) 1 + 1 -vuotiaiden taimien viereen, samaan taimirypääseen. Vanhat (20) ja pakatut (23) taimet olivat samanikäisiä, mutta varsinaiset (24), pienet (27) ja puoli-puoloset olivat vuotta nuorempia kuin paljasjuuriset (11) taimet. Istutus tehtiin laikuttamatta.

Aineistoon F (28—51) kuului vain varsinaisia rullataimia (24), jotka käytännönmiesten toimesta urakkaistutuksina pantiin maahan 24 istutuskohteessa. Nämä istutukset tehtiin elokuussa 1968 ja niiden avulla oli tarkoitus kontrolloida tutkimusistutuksia E (8—27).

Kuvassa 31 esitetään aineiston E (8—27) elossaolojakauma neljäntenä syksynä istutuksen jälkeen. Samaan kuvaan on piirretty Y l i - V a k k u r i n ym. (1969) aineistoon perustuva tasoitussuora 6—8 -vuotiaiden paljasjuuristen istutustaimistojen elossaolojakaumasta. Rullataimi-istutukset ovat siis 2—3 vuotta tätä vertailukohtaansa nuorempia. Rullataimia (20, 23, 24) on elossa suunnilleen yhtä paljon kuin paljasjuurisia vertailutaimia (11). Koulinta- ja istutushetkellä pienemmistä ja heiveröisemmistä rullataimista (27) ja puoli-puolosista (22) on sen sijaan kuollut noin kuusi prosenttia enemmän. Tapion taskukirjassa (T a k a l a 1971) määritetylle taimiston täydennysrajalle, jos luonnontaimia ei oteta ollenkaan huomioon, oli tutkimusryhmän aineistoista E (8—27) joutunut vain yksi alue ja käytännön aineistoista F (28—51) kaksi aluetta, suurten myyrätuhojen johdosta.

Kuvassa 32 verrataan tutkimusryhmän (aineisto E 8—27), ja käytännönmiesten toimesta urakkatyönä (aineisto F 28—51), suorittamien varsinaisten rullataimien (24) istutusten elossaoloa toisena syksynä istutuksen jälkeen. Yleinen käsitys, että urakalla tehtäessä taimet pantaisiin maahan huolimattomammin ja menestyisivät sen tähden heikommin, ei saa tästä vertailusta tukea. Havaittu parin prosentin ero saattaa johtua monesta muustakin syystä.



Selitys — *Legend:*

Erät E (8—27) — Lots E (8—27)

1. Paljasjuuriset taimet (11) — *Bare-rooted plants (11)*
2. Vanhat rullataimet (20) — *Old roll plants (20)*
3. Pakatut rullataimet (23) — *Packed roll plants (23)*
4. Varsinaiset rullataimet (24) — *Normal roll plants (24)*
5. Pienet rullataimet (27) — *Small roll plants (27)*
6. Puoli-puoloset (22) — ½ + ½ *roll plants (22)*

Yli-Vakkurin ym. (1969) mukaan
Material of Yli-Vakkuri et al. (1969)

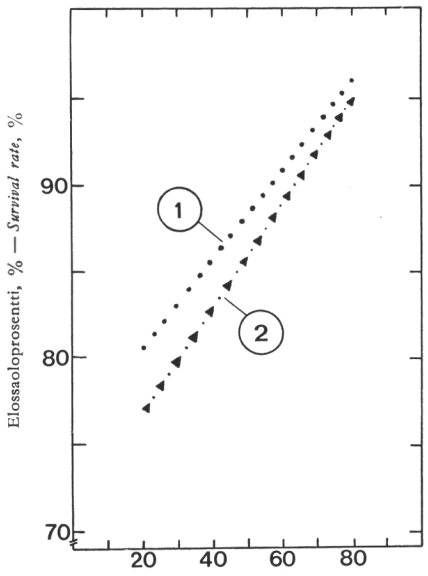
7. Lounais-Suomi — *South-West Finland*
8. Itä-Häme — *Eastern Häme*
9. Itä-Savo — *Eastern Savo*
10. Keski-Suomi — *Central Finland*

Kuva 31. Aineistoon E (7—28) kuuluvien rullataimien elossaolojakauma syksyllä 1971 eli kolmantena kesänä istutuksen jälkeen sekä Yli-Vakkurin ym. (1969) aineiston perusteella saatu vastaavan tapainen jakauma 6—8 vuotta vanhoista paljasjuurisilla taimilla viljellyistä istutustaimistoista Suomen eteläpuoliskossa piirimetsälautakuntien alueella.

Fig. 31. Survival distribution of E (7—28) roll plants in autum 1971 or the third year after planting, and the corresponding distribution calculated from the material of Yli-Vakkuri et al. (1969) for 6—8 years old plantations (in which bare-rooted plants had been used) in Forestry Board Districts in the southern half of Finland.

Kun aineistoon E (8—27) kuuluvia taimia istutettiin pitkin kesää, voitiin taimien kuolleisuus jaotella tämän perusteella. Tulos selviää taulukosta 23.

Taulukon 23 perusteella ei löydetä syytä, jonka perusteella jotain kokeilluista istutusajankohdista pitäisi erityisesti välttää. Rullataimia voitaneen panna maahan pitkin kesää istutusvarmuuden kärsimättä.



Selitys — *Legend:*

1. Aineisto E (7—28) — *Material E (7—28)*
2. Aineisto F (28—51) — *Material F (28—51)*

Kuva 32. Aineistoihin E (7—28) ja F (28—51) kuuluvien varsinaisten rullataimien (24) elossaolojakauma istutuskesää seuraavan vuoden syksyllä eli vuonna 1969.

Fig. 32. Survival distributions in autumn 1969 of the normal roll plants of material E (7—28) and E (28—51) which had been planted in summer 1968.

Taulukko 23. Kuolleiden taimien osuus rullataimien läpikesäisessä istutuksessa Etelä-Suomessa.

Table 23. Mortality of roll plants in planting throughout the summer in South Finland.

Istutusviikko vuonna 1968 *Planting week in 1968*	Rullataimityyppi *Type of roll plant*				
	Vanhat (20) *Old (20)*	Pakatut (23) *Packed (23)*	Puoli-puoloset (22) $\frac{1}{2}+\frac{1}{2}$ *(22)*	Varsinaiset *(24)* *Normal (24)*	Pienet (27) *Small (27)*
	Kuolleita syksyllä 1969, % *Mortality in autumn 1969, %*				
25	6	..	18	..	..
26	11	..	13	..	..
27	9	..	15	..	..
28	18	..	28	..	..
29	3	20	..	16	..
30	..	6	..	8	..
31	..	11	..	18	..
32	..	7	..	10	..
33	..	6	..	10	14
34	..	6	..	10	12
35	..	6	..	10	15
36	..	..	..	10	11
37	..	10	..	13	..
38	..	11	..	10	..
Keskimäärin — *Mean*	11,6	8,6	19,3	12,0	13,5

Suurin osa ns. vanhoista rullataimista (20) istutettiin jo aikaisemmin eli vuonna 1967 käytännönmiesten toimesta (aineisto D 5—7). Taimet olivat silloin vastaavassa kasvatusvaiheessa kuin aineiston E (8—27) varsinaiset rullataimet (24) eli biologiselta iältään vähän yli vuoden vanhoja. Ne istutettiin heinäkuussa, joka oli harvinaisen kuiva. Ensimmäiset sateet saatiin vasta kuun loppupuolella. Taimikuolleisuudeksi mitattiin kolmantena syksynä (v. 1969) istutuksen jälkeen seuraavat arvot.

	%
Hiiskula (D 5)	5,6
Arpalahti (D 6)	3,6
Ekerö (D 7)	6,7

Varsinaisten rullataimien (24) kevätistutuksia jatkettiin vuonna 1969 (aineisto G 52—53). Nämä taimet olivat tällöin saavuttamassa ns. vanhojen rullataimien (20) hoitoasteen. Kuolleisuudeksi syksyllä 1969 mitattiin Eerolassa (G 52) 8,3 % ja Hiiskulassa (G 53) 0,7 %.

Taimien kuolemiseen vaikuttavat hyvin monet syyt. Useimmiten syynä on vaurioituminen. Elossaolevat taimet jakautuvat siis terveisiin ja vaurioituneisiin. Edelleen voidaan erottaa koko ikänsä terveinä kehittyneet taimet. Taulukossa 24 esitetyistä taimista oli vaurioituneita Etelä-Suomessa 51—61 ja Pohjois-Suomessa 44 %.

Vaurioituneiden taimien kasvu on siis ollut lähes puolta vähäisempää kuin terveiden, ja se on vähentänyt taimistojen pituutta, Etelä-Suomessa korkeintaan 10 prosenttia ja Pohjois-Suomessa alle 20 prosenttia.

Taulukko 24. Terveinä kehittyneiden ja istutuksen jälkeen vaurioituneiden eri-ikäisten rullataimien keskimääräinen vuotuinen kasvu.

Table 24. Mean annual increments of different aged healthy roll plants and of roll plants damaged after planting.

Aineistojen selitys *Material*	Vuotuinen kasvu, cm *Mean annual increment, cm*		
	Terveinä kehittyneet taimet *Healthy plants*	Vaurioituneet taimet *Damaged plants*	Kaikkiaan *Total*
Etelä-Suomi — *South Finland*			
5-vuotiaat — *5-years-old plants*			
Varsinaiset rullataimet (24) — *Normal roll plants (24)*	12,6	6,7	11,6
Puoli-puoloset (22) — $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$ *roll plants (22)*	12,8	7,4	12,2
Pienet rullataimet (27) — *Small roll plants (27)* ..	11,7	6,9	10,9
6-vuotiaat — *6-year-old plants*			
Paljasjuuriset (11) — *Bare-rooted plants (11)*	11,8	6,3	11,1
Vanhat rullataimet (20) — *Old roll plants (20)* ...	12,3	6,8	11,7
Pakatut rullataimet (23) — *Packed roll plants (23)*	10,9	6,2	10,3
Pohjois-Suomi — *North Finland*			
7-vuotiaat rullataimet — *7-year-old roll plants*	7,3	4,6	6,1

Pohjois-Suomessa arvioitiin roudan aiheuttaneen joka kolmannen vaurioitumisen. Etelä-Suomessa roudan vaikutus oli vähäinen, mutta sen sijaan rikkakasvillisuus lisäsi taimivaurioita, kuten nähdään alla olevasta asetelmasta.

Aineistojen selitys	Vaurioituneiden taimien osuus %	
	Rikkaruohottuneissa laikuissa	Muissa laikuissa
Etelä-Suomi (E 8—27)		
5-vuotiaat		
Varsinaiset rullataimet (24)	23,4	9,8
Puoli-puoloset (22)	15,5	7,6
Pienet rullataimet (27)	20,5	12,6
6-vuotiaat		
Paljasjuuriset (11)	17,4	7,1
Vanhat rullataimet (20)	12,6	4,3
Pakatut rullataimet (23)	19,6	6,2

Rikkaruohoisissa laikuissa, joissa kasvoi pääasiassa kastikkaa, lauhaa ja maitohorsmaa, oli vaurioituneita taimia 1,6—3,2 kertaa enemmän kuin muissa laikuissa. Parhaiten selviytyivät vanhat rullataimet (20). Eri menetelmin kasvatettujen taimien kyky selvitä rikkaruohoista näyttää olevan erilainen. Tämä viittaa siihen, että olisi löydettävissä rullataimityyppi, jonka vaurioitumisherkkyys on vähäinen. Koska vaurioituneet taimet muodostavat kuolevien taimien pääasiallisen reservin, lienee vaurioitumisen vähenemisellä ratkaiseva merkitys taimien myöhempään elossa pysymiseen.

Taimien vaurioituneisuus vaikeuttaa niiden kasvun seuraamista. Tämän takia rullataimien kasvua on mitattu pääasiassa terveistä yksilöistä, jotka inventointihetkellä ovat näyttäneet rungon muodon, lähinnä sen suoruuden ja kasvainten säännöllisyyden perusteella kehittyneen koko ikänsä vaurioitta. Tällaisten taimien perusteella voidaan luoda kuva saavutettavissa olevasta tavoitetasosta.

Aineiston E (8—27) perusteella on laadittu terveiden paljasjuuristen taimien (11) pituusjakauma, joka on esitetty taulukossa 25. Tähän on sitten verrattu muita taimia.

Taulukko 25. Läpikesäisen istutuksen vertailutaimina olleiden 1+1-vuotiaiden terveinä kehittyneiden paljasjuuristen taimien pituuden kehitys Etelä-Suomessa.

Table 25. Height development of 1+1 healthy bare-rooted plants which were used as control stock in planting throughout the summer in South Finland.

Taimien ikä, vuotta *Age of plants, years*	Terveiden taimien pituus, cm *Height of healthy plants, cm*	Vuosikasvain, cm *Annual shoot, cm*
3	15,5	..
5	46,5	19,0
7	100,0	29,0
9	166,2	24,0
11	239,7	37,5
13	319,2	40,5

Selitys — *Legend:*

Erät E (8—27) — Lots E (8—27)

1. Paljasjuuriset taimet (11) — *Bare-rooted plants (11)*
2. Vanhat rullataimet (20) — *Old roll plants (20)*
3. Pakatut rullataimet (23) — *Packed roll plants (23)*
4. Varsinaiset rullataimet (24) — *Normal roll plants (24)*
5. Pienet rullataimet (27) — *Small roll plants (27)*
6. Puoli-puoloset (22) — ½ + ½ *roll plants*

Erät A (1—4) — Lots A (1—4)

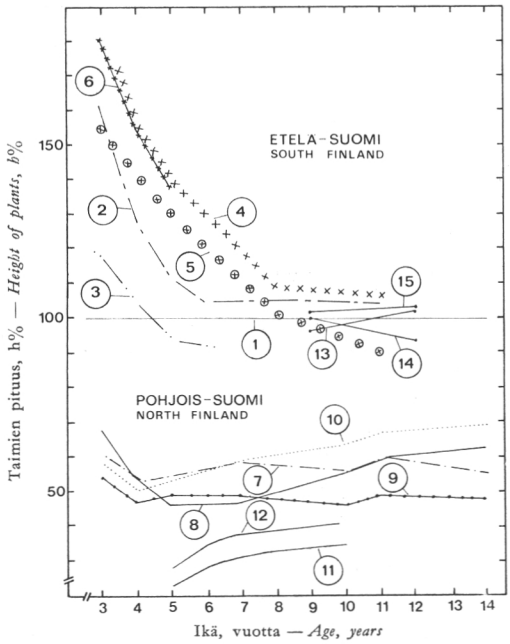
7. Petäjäselkä (A 1) — *Petäjäselkä (A 1)*
8. Ahmakuusikko (A 2) — *Ahmakuusikko (A 2)*
9. Kuohunki (A 3) — *Kuohunki (A 3)*
10. Arppee (A 4) — *Arppee (A 4)*

Soli nin (1970) mukaan — Soli n's (1970) material

11. Tuoreet kankaat — *Moist forest land*
12. Kuivat kankaat — *Dry heathy woodlands*

Erät D (5—7) — Lots D (5—7)

13. Hiiskula (D 5) — *Hiiskula (D 5)*
14. Arpalahti (D 6) — *Arpalahti (D 6)*
17. Ekerö (D 7) — *Ekerö (D 7)*



Kuva 33. Terveinä varttuneiden männyntaimien pituuden kehitys verrattuna erien E (8—27) paljasjuuristen taimien vastaavaan pituuteen, jota on merkitty arvolla 100 (h %).

Fig. 33. Relative height development of healthy pine plants when the height of the bare-rooted stock of the lots E (8—27) is taken as 100 (h %).

Kuvassa 33 esitetään terveinä kehittyneiden taimien pituuden vertailu ja siitä nähdään, miten rullataimet Etelä-Suomessa on kasvatusvaiheessa taimitarhalla vauhditettu paljasjuurisia vertailutaimiaan pitemmiksi. Istutuksen jälkeen näyttää rullataimien suhteellinen kasvuvauhti hidastuvan, ehkä juuripaakussa olevien ravinteiden ja karumpaan maahan joutumisen johdosta, kunnes ne ja paljasjuuriset taimet 6—8 -vuotiaista lähtien kehittynevät suunnilleen samalla nopeudella.

Pohjois-Suomessa esimerkkitaimistojen kehityksessä on pieniä eroja. Kuohungin alueen (A 3) jälkeenjääneisyys on helppo selittää, koska siellä on tiheä vesametsä jäänyt raivaamatta. Petäjäselässä (A 1) mahdollisesti ilmaston äärevyys, kevätahava ja -hanki ovat ehkä puolestaan hidastaneet taimien pituuskasvua. Rullataimierien (A 1—4) terveet taimet ovat kasvaneet joutuisammin kuin Soli nin (1970) mittaamat paljasjuuriset taimet (S_1) Lapin piirimetsälautakunnan alueen eteläosissa.

Istutusalueen viljavuus, ilmasto-olosuhteet ja taimien ominaisuudet vaikuttavat siihen, että jokaisen taimiston pituuskasvu kehittyy sille ominaisella tavalla. Istutusalueen sisälläkin taimet menestyvät eri tavoin. Taulukko 26 antaa tästä asiasta muutamia viitteitä. Taimet kuuluvat pohjoissuomalaiseen aineistoon (A 1—4) ja havainnot on tehty taimien ollessa 10-vuotiaita.

Taulukko 26. Terveinä kehittyneiden 10-vuotiaiden pohjoissuomalaisten rullataimien pituus metsäauran jäljessä ja kuntoluokittain.

Table 26. Height of 10 year old healthy North Finnish roll plants planted on ploughed forest land according to position in the furrow and condition of plants.

Selitys *Explanation*	Aineisto *Material*			
	A 1	A 2	A 3	A 4
Terveinä kasvaneet taimet, h_{cm} — *Healthy plants*, h_{cm}	130	94	111	112
Eri kohdalla auratussa maassa kasvaneet taimet, h % — *Position of plant on ploughed land*, *h* %				
Vaossa — *In furrow*	(60)	77	85	78
Pientareella — *On edge*	94	99	97	99
Palteessa — *On tilt*	107	110	109	116
Kunnoltaan erilaiset taimet, h % (ks. taulukko 21) — *Condition of plant*, *h* % *(see table 21)*				
Hylättävät — *Rejectable*	92	84	84	98
Huonot — *Poor*	95	93	96	97
Keskinkertaiset — *Fair*	98	104	107	104
Hyvät — *Good*	104	117	110	109
Erittäin hyvät — *Very good*	118	(112)	124	(101)

Istuttamalla palteeseen ja käyttämällä hyväkuntoisia taimia voidaan siis taimiston pituuden kasvua vauhdittaa. Tämä nostaa kuitenkin istutuskustannuksia, koska palteessa taimia kuolee enemmän kuin pientareella (Pohtila 1974, 1977 sekä Turtiainen ja Valtanen 1974) ja vain hyväkuntoisia taimia käytettäessä joudutaan paljon muita taimia hylkäämään.

Taimistojen kehityksessä tarkastellaan vielä niiden juuriston leviämistä istutuksen jälkeen. Imarin taimitarhalla suoritettiin viljelykoe. — Rullataimet jaettiin kahteen ryhmään, toisessa (A′) muovikalvo jätettiin istutettaessa juuripaakun täytemaan puolelle ja toisessa (A″) se poistettiin. Taimet istutettiin maahan tavanomaisesti kuopan laitaan, maaperän ollessa soraista hiekkamoreenia. Taimet nostettiin 11-vuotiaina. Tulokset nähdään taulukosta 27, jossa lisäksi on aineistosta A (1—4) nostettuja samanikäisiä taimia.

Taulukko 27. Havaintoja 11-vuotiaina maasta nostettujen rullataimien juuriston tilasta Pohjois-Suomessa.

Table 27. Condition of root-systems of 11-year old roll plants uprooted in North Finland.

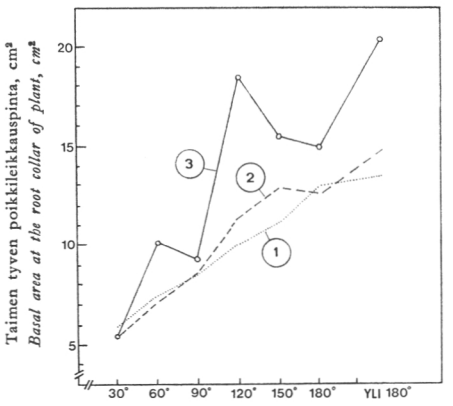
Aineisto *Material*	Taimia, kpl *Number of plants*	Pääjuuria *Taproots*	Muita tukijuuria *Other supporting roots*	Taimien jakauma ohutjuurien perusteella, % koko määrästä *Distribution of plants on the basis of their side roots*, %			Taimien jakauma istutustavan perusteella, % koko määrästä *Distribution of plants according to how they were planted*, %		
		kpl/taimi *Number/plant*		Vähän *Few*	Keskimäärin *Average*	Runsaasti *Many*	Viistoon *Slanting*	Pystysuoraan *Upright*	Sykkyrään *Bent*
A′	220	0,4	6,1	9	70	21	88	11	3
A″	229	0,5	5,9	19	66	15	87	10	1
A 1—4	108	0,5	4,4	25	55	20	81	9	10

Lähes joka toisesta taimesta löytyi pääjuuri. Sykkyrään istutettuja juuria oli vain 1—10 % koko taimimäärästä, kenttäistutuksissa eniten. Tämä viitannee istutusvirheeseen. Solmuun tai kierteelle kasvettuneita juuristoja ei löydetty.

Kuvasta 34 selviää rullataimien juuriston levittäytyminen ympäristöönsä. Samaan tapaan havaitaan kuvasta 35 tukijuurien määrän lisääntyvän taimen paksuuden kasvaessa. Muovin jättäminen taimipaakkuun istutusvaiheessa ei näytä vaikuttaneen juuriston haarottumiseen.

Selitys — *Legend:*

1. Muovikalvo istutettaessa paakun toisella puolella, aineisto A′ *Plastic sheet was left intact on one side of the peat band at planting, material A*
2. Muovikalvo poistettu ennen istutusta, aineisto A″ *Plastic sheet was removed before planting, material A″*
3. Istutukset alueilla A (1—4) *Plantings in the areas A (1—4)*

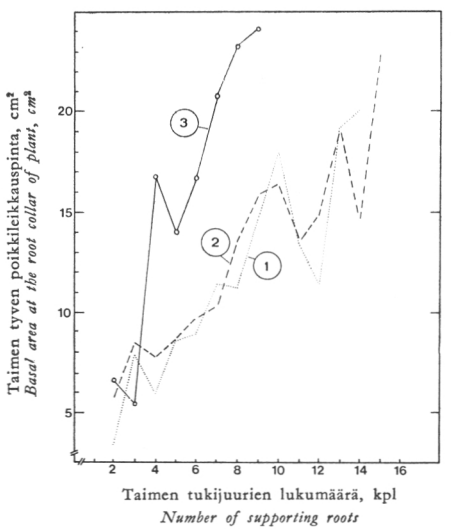


Kuva 34. 11-vuotiaiden rullataimien juuriston leviämisen ja taimen paksuuden välinen riippuvuus Pohjois-Suomessa.

Fig. 34. Plant thickness vs. spreading of root system of 11-year old roll plants in North Finland.

Selitys — *Legend:*

1. Muovikalvo istutettaessa paakun toisella puolella, aineisto A′ *Plastic sheet was left intact on one side of the peat band at planting, material A′*
2. Muovikalvo poistettu ennen istutusta, aineisto A″ *Plastic sheet was removed before planting, material A″*
3. Istutukset alueilla A (1—4) *Plantings in the areas A (1—4)*



Kuva 35. 11-vuotiaiden rullataimien tukijuurien lukumäärän ja taimen paksuuden välinen riippuvuus Pohjois-Suomessa.

Fig. 35. Plant thickness vs. number of supporting roots of 11-year old roll plants in North Finland.

Istutusalueilla niin Etelä- kuin Pohjois-Suomessa on tavattu vain harvoin kallistuneita taimia, kuitenkin Pohjois-Suomessa enemmän. Nämä näyttävät olevan vuodesta toiseen roudan kiusaamia. Tällaiset taimet saattavat metsäauran vaossa Pohjois-Suomessa roudan vaikutuksesta liikkua paikaltaan, jolloin juuristo muuttuu liikkumasuunnassa ohueksi suortuvaksi. Näissä tapauksissa taimi vain harvoin pysyy hengissä, koska talvella lumi vielä usein vuodesta toiseen kaataa sen alleen.

Edellä saatujen viljelykokemusten perusteella näyttää siltä, että jo esitettyjen rullataimityyppien eloonjääminen ja pituuden kehitys sekä juuriston muotoutuminen vastannevat sitä tasoa, johon päästään paljasjuurisia taimia käytettäessä.

7. ESIMERKKI TULOSTEN HYVÄKSIKÄYTÖSTÄ

Edellä on käsitelty koulittujen rullataimien tuottamista taimitarhalla, niiden kuljettamista istutuspaikalle, varsinaista istuttamista ja metsänviljelyn onnistumista. Tutkimuksessa on pyritty luomaan ja kehittämään käytäntöön soveltuva taloudellinen ja metsittämisarvoltaan hyvä ratkaisumalli.

Taulukkoon 28 on koostettu esimerkki saatujen tulosten käyttämisestä rullataimituotannon ja -metsänviljelyn kustannusten arvioimisessa. Taulukossa esitetyissä sovellutusyhtälöissä (sar. 2) on käytetty esimerkkiarvoja, jotka on merkitty hakasulkeisiin suureiden tunnuksia ja mittayksikköjä esittelevässä luettelossa s. 106—109. Näin on voitu laskea sarakkeeseen 3 taimikohtaiset tulokset. Kertomalla nämä arvot vastaavilla yksikkökustannuksilla (sar. 5) on saatu lasketuksi kokonaiskustannukset (sar. 6). Työsuoritusten ja tarvikkeiden yksikköhinnaksi (sar. 4) on valittu syksyn 1977 kustannustaso. Kustannukset on laskettu elävää tainta kohden.

Esimerkissä kokonaiskustannukset koostuvat muuttuvista eristä. Kiinteiden hallinto- ym. kustannusten mukaan ottaminen olisi tuottanut suuria vaikeuksia. Saattaa olla, että rullataimitarhaksi perustetun taimitarhan investoinnit tainta kohden eivät sanottavasti poikkea paljasjuurisia taimia tuottavan taimitarhan kustannuksista. Rullataimitarha tuskin tarvitsee kylmävarastoa tai maanmuokkauskoneita. Se ei myöskään tarvitse hyvin muokattuja ja viljavia taimipenkkejä, vaan kasvatusalustaksi sopii kantavapohjainen tanner. Rullataimia voidaan kasvattaa huomattavasti tiheämmässä ja saattaa ne metsään vietävään kuntoon lyhyemmässä ajassa (esim. varsinaiset rullataimet 24) kuin paljasjuurisia taimia. Rullataimitarhassa on sen sijaan sijoitettava pääomaa koneiston ja tuotantohallin rakentamiseen.

Esimerkkitapauksessa 30 % tainta kohden lasketuista muuttuvista kokonaiskustannuksista muodostuu taimitarhalla ja 12 % kuljetuksissa. Istutus on kallein vaihe, mutta viljelytappio on myös suuri eli 26 %. Tarkastelemalla kustannusten muodostumista voidaan päätellä, että huomattavimmat säästöt on saavutettavissa alentamalla rullien korkeutta ja vaikuttamalla taimien elossapysymiseen. Huonojen taimien hylkääminen lajittelun yhteydessä taimitarhalla nostaa kokonaiskustannusten summaa monin verroin hitaammin kuin istutuksen jälkeinen kuolleisuus. Tämän takia kannattaa pyrkiä sellaisiin rullataimityyppeihin, joiden viljelytappiot jäävät vähäisiksi. Jos rullien korkeutta vähennettäisiin esimerkiksi lähelle turveruukku- tai paperikennotaimien paakun korkeutta, voitaisiin tarvikemenekkiä vähentää. Tämä keventäisi luonnollisesti myös kuljetuksia ja halventaisi kuljetuskustannuksia.

Taulukko 28. Esimerkkilaskelma rullataimien metsänviljelyn muuttuvien kustannusten muodostumisesta.

Table 28. An example of break-down of variable costs in forestation with roll plants.

Kustannuserä *Cost*	Sovellettu yhtälö *Equation applied*	Esimerkkiarvojen mukaan laskettu tulos yhtälöistä, sar. 2 *Results obtained with the equation in col. 2 when example figures were used in calculations*	Peruskustannus *Basic cost*	Peruskustannuksen mukainen yhtälöissä, sar. 2, käytetty yksikköhinta, penniä *Unit price (in accordance with basic cost) used in functions of col. 2, F. pennies*	Kokonaiskustannus *Total costs*	
					Penniä/taimi *F. pennies/plant*	%
1	2	3	4	5	6	7
Koulintatyö *Transplanting work*						4,8
Koulija — *Transplanter*	R_1	5,5 cmin/taimi *cmin/plant*	17,82 mk/h	0,297	1,63	
Rullaaja — *Rollmaker*	R_1/e	0,69 »	18,50 »	0,308	0,21	
Kulj.traktori — *Transport tractor* ..	R_1/e	0,69 »	50,00 »	0,833	0,57	
Työnjohtaja — *Foreman*	R_1/e	0,69 »	16,38 »	0,273	0,19	
Käyttövoima ja tarvikkeet *Energy and raw-materials*						4,6
Sähkö — *Electricity*	T_1	0,0015 kwh/taimi *kwh/plant*	0,147 mk/kwh	14,7	0,02	
Muovi — *Plastic sheet*	T_2	2,5862 g/taimi *g/plant*	8,52 mk/kg	0,852	2,20	
Turve — *Peat*	T_3	122,7182 cm^3/taimi *cm^3/plant*	13,90 mk/i-m^3 *mk/m^3loose*	0,0014	0,17	
Lannoitteet — *Fertilizers*	T_4	0,4909 g/taimi *g/plant*	1,44 mk/kg	0,144	0,07	
Liima — *Glue*	T_5	0,04 »	4,84 »	0,484	0,02	
Koulittava taimi (arvio) *Seedling for transplanting (estimate)*		.	.	.	6,40	11,8
Kasvatus — *Tending*						9,2
Lannoitteet ja hoito (arvio) — *Fertilizers and tending (estimate)*		.	.	.	0,30	
Taimien leikkaus — *Cutting out of plants*		.	.	.	2,30	

1	2	3	4	5	6	7
Lajittelutappio, 20 % (arvio) — *Culling, approx, 20 % (estimate)* ..		.	.	·	2,33	
Kuljetus — *Transportation*						11,5
Auton lastaus ja purkaus — *Loading and unloading of lorry*	(u/v)+30%	1,2913 cmin/taimi *cmin/plant*	17,82 mk/h	0,297	0,38	
Autokuljetus — *Lorry transport*	R_2	0,8243 »	54,00 »	0,900	0,74	
Traktorin lastaus ja purkaus — *Loading and unloading of tractor*	(u/v)+30%	0,5937 »	20,00 »	0,333	0,20	
Traktorikuljetus — *Tractor transport* ..	R_2	2,8564 »	40,00 »	0,667	1,91	
Ihmisvoimainen kuljetus — *Manual transport*	r_8+30 %	8,9310 »	20,00 »	0,333	2,97	
Varsinainen istutustyö — *Planting work*	R_3	52,1739 »	20,00 »	0,333	17,37	32,0
Viljelytappio, 35 % (arvio) — *Planting losses, 35 % (estimate)*		.	.	·	14,16	26,1
Yhteensä — *Total*	·	.	.	·	54,14	100,0

8. TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksessa on rullataimimenetelmää tarkasteltu toimenpideketjuna taimitarhalta varttuneeseen taimistoon saakka. Taimitarha- ja metsänviljelytutkimukset selvittelevät tavallisesti jotain erikoisongelmaa. Neuvostoliittolaisessa Brika-menetelmän (Lesoposadotšnij . . . 1974) esittelyssä käsitellään kuitenkin poikkeuksellisesti metsänviljelyketjua kokonaisuudessaan. Tällainen toimenpideketjun malli antaa käytännön viljelijälle tukea toimenpiteiden suunnittelussa ja toteutuksessa.

Vaikka metsänviljely on meillä Suomessa varsin voimakasta, on siitä verrattain vähän selvityksiä. Mikäli vain ⅓ istutetuista paljasjuurisista taimista puolentoista vuosikymmenen kuluttua on enää elossa (vrt. L e i k o l a ym. 1977), istutusviljelyn toimenpideketjussa on heikkoja kohtia. Ne saattavat paljastua joko uusien innovaatioiden tai käytössäolevien menetelmien tarkemman analysoinnin ja rekonstruktion ansiosta. Oheisen tutkimuksen tavoitteena on ollut sellaisen toimenpideketjun kehittäminen, jossa rullataimia käyttäen voitaisiin päästä käyttökelpoiseen viljelyvaihtoehtoon, joka tarjoaisi mahdollisuuden saavuttaa suunnilleen samanlainen istutusviljelytulos, jollaiseen päästään paljasjuurisia taimia käytettäessä. Yksistään tämän päämäärän saavuttaminen on näyttänyt jo riittävältä, koska rullataimia voidaan paakkujensa ansiosta istuttaa kesällä pitempään kuin paljasjuurisia taimia.

Monissa tutkimuksissa on pyritty vertailemaan eri taimilajien paremmuutta mitatuin viljelykokein. Useimmiten on kokeissa seurattu taimien kasvua ja kuolleisuutta vain ensimmäisinä vuosina istutuksen jälkeen (esim. P o h t i l a 1972, 1974, 1977, L e i k o l a ja H u u r i 1974, T u r t i a i n e n ja V a l t a n e n 1974 ja L e i k o l a 1976). Jos vertailtavat taimet ovat eri alkuperää, ovat eri-ikäisiä ja taimitarhavaiheessa eri menetelmin kasvatettuja, vaikeutuu taimilajien vertailu istutusta seuraavien lähivuosien kasvun ja kuolleisuuden perusteella. Vielä vaikeampaa on taimien vertailu, jos siirrytään kesäistutuksiin. Silloin voidaan nimittäin istuttaa vain paakkutaimia, sillä männyn paljasjuuriset taimet eivät menesty keskellä kesää istutettuina. Se, että toinen taimilaji ja sille rakentuva metsänviljelyn toimenpideketju on vasta kehittelyvaiheessa, mutta toinen jo vakiintunut käyttöön, vaikeuttaa luonnollisesti lisää vertailujen tekemistä.

Meillä ei ole tutkittu erilaisten metsänviljelyn toimenpideketjujen edullisuutta. Meillä ei ole myöskään tietoa siitä, miten nopeasti kasvavaa istutustaimistoa erilaisilla kasvupaikoilla olisi pidettävä tavoiteltavana normina ja millaiseksi taimiston eloon-

jäämis- ja vaurioitumisprosenttien eri-ikäisissä taimistoissa pitäisi muodostua. Jonkinlaiset istutustaimistojen kasvu- ja eloonjäämistaulukot olisivat hyödyksi sekä uusia taimilajeja ja -tyyppejä että niillä suoritettavaa metsänviljelyä kehitettäessä samoin kuin tätä kehitystyötä arvosteltaessa.

Oheiseen tutkimukseen liittyvät koeistutukset on huomattavalta osin suoritettu aikana, jolloin paljasjuuristen taimien istuttaminen ei käytännössä käy päinsä. Näissä istutuksissa on rullataimien todettu menestyneen lähimain samalla tavalla kuin paljasjuuristen taimien keväällä tehdyissä istutuksissa. Pohjois-Suomesta saatujen juuristoselvitysten perusteella näyttää lisäksi siltä, että rullataimien juuristot haarautuvat joka suuntaan. Tämä merkitsee sitä, että ne levittäytyvät iän karttuessa sitä mukaa kuin taimen runko kasvaa paksuutta ja sen pystyssä pitäminen vaatii juuriston tukea. Silmävaraiset havainnot Etelä-Suomen aineistoissa viittaavat samaan suuntaan.

P ö y h t ä r i (1970) mainitsee, että Pohjois-Suomessa rullataimilla on saatu systemaattisesti parempia tuloksia kuin paljasjuurisilla taimilla ja että niitä voidaan verrata lähinnä turveruukkutaimiin. P o h t i l a n (1972) kokeissa rullataimilla 1 M + 1 A saavutettiin taimien elossaolon osalta huonompi tulos kuin 1 M + 1 A, mutta parempi kuin 2 A + 1 A paljasjuurisilla taimilla. L e i k o l a ja H u u r i (1974) mainitsevat puolestaan Etelä-Suomen runkotutkimuksessa, että turveruukkutaimet olivat selviytyneet vuonna 1970 parhaiten, niitä seurasivat rullataimet ja paljasjuuriset taimet olivat menestyneet huonoimmin. Vuonna 1971 rullataimet olivat vuorostaan menestyneet parhaiten. P o h t i l a (1974) puolestaan esittää runkotutkimuksen kolmesta pohjoisimmasta tutkimusregiosta, että paakkutaimet, joukossa mm. rullataimet, pysyivät auratun maan palteissa elossa selvästi paremmin kuin paljasjuuriset taimet ja että istutustaimista rullataimet kasvoivat parhaiten pituutta. T u r t i a i s e n ja V a l t a s e n (1974) graafisten esitysten perusteella runkotutkimuksessa Pohjanmaan ja Kainuun metsäaurausalueilla rullataimien pituuden kehitys on kulkenut paljasjuuristen ja kennotaimien pituuden kehityksen suuntaisesti, mutta niiden kehityksen yläpuolella. Palteissa rullataimet ovat pysyneet elossa parhaiten, pientareessa järjestys on kasvupaikan mukaan vaihdellut. Myös P o h t i l a n (1977) mukaan kookkaita rullataimia palteeseen istutettaessa on saavutettu parhaita tuloksia.

L e i k o l a (1976) on tarkastellut paljasjuuristen ja rullataimien eloonjäämistä eri tavoin muokatuilla pelloilla. Rymättylän kokeessa rullataimet menestyivät paremmin kuin paljasjuuriset taimet, mutta Maalahdessa tilanne oli päinvastainen muissa tapauksissa, paitsi paksulla ja tavallisella pallekynnöllä.

Äsken mainitut tutkimustulokset käsittävät tavanomaisena paljasjuuristen taimien istutusaikana eli keväällä tai syksyllä suoritettujen metsänviljelyiden tuloksia. Oheisessa tutkimuksessa rullataimet viljeltiin usein keskikesää lähentelevissä olosuhteissa. Kaikissa näissä tutkimuksissa on käynyt selväksi, että rullataimet menestyvät suunnilleen yhtä hyvin, ehkä jonkin verran paremminkin, kuin paljasjuuriset taimet. Kun otetaan lisäksi huomioon, että rullataimimateriaali tämän tutkimuksen kokeisiin on saatu menetelmän teknisen kehittelyn sivutuotteena ja että kirjoittajan biologinen- ja metsänviljelykokemus ovat olleet varsin vähäisiä, niin voidaan olettaa, kuten eräät koe-

esimerkitkin osoittavat, että kesällä istutettavien rullataimien metsittämisarvoa voitaisiin parantaa.

Taimien viljelyarvon kohottamisella on suuri taloudellinen merkitys, sillä kuolleeseen taimeen sijoitetut varat joutuvat aina hukkaan. Jos alunalkaen pystyttäisiin viljelemään vain maastossa myöhemminkin eloonjääviä taimia, metsänviljelykustannukset pienenisivät huomattavasti. Samalla kyettäisiin täydellisemmin valvomaan uudelle metsikölle asetettujen puulajeittaisten ja rodullisten tavoitteiden saavuttamista.

Käytännössä ollaan yleensä tyytyväisiä, jos viljely yhdessä luonnontaimien kanssa antaa riittävän taimiaineksen. Esimerkiksi Tapion Taskukirjassa (Takala 1971) kehotetaan taimiston täydennysistutukseen vasta silloin, kun kolmen vuoden kuluttua istutuksesta kehityskelpoisten viljelytaimien ja luonnontaimien yhteinen osuus on maan eri osissa pienempi kuin 48—72 % viljelytiheydestä 2 500 tainta/ha laskettuna. Kun luonnontaimien lukumäärän voidaan tehtyjen selvitysten perusteella arvioida olevan noin 30 % (esim. Yli-Vakkuri ym. 1969 ja Solin 1970), tarvitsisi mainitulla täydennysrajalla istutustaimista olla elossa enää vain 34—50 %. Käytännössä siis hyväksytään, että kolmen vuoden kuluttua istutuksesta on lähes 66—50 % istutustaimista kuollut. Jos voitaisiin tuottaa pelkästään elossa pysyviä taimia, niin tälle tasolle pääsemiseksi tarvitsisi hehtaarille istuttaa 1 650—1 250 tainta. Kun istutustiheys lasketussa tapauksessa on ollut 2 500 tainta/ha, voidaan viljelyn rahallisen tappion taulukon 28 esimerkkitapauksessa katsoa olevan eloon jäänyttä tainta kohden laskettuna 21—41 penniä/taimi. Saman tason saavuttamiseksi kannattaisi elossa säilyvistä taimista taimitarhalla maksaa lähes 1,5—2,0 kertaa enemmän. Tutkimuksen kuluessa on saatu viitteitä siitä, että rullataimien kasvatusta ja hoitoa, mm. lajittelua, voitaisiin käytännössä ohjata mainitun tavoitteen suuntaan.

Oheisen tutkimuksen melko laajoiksi katsottavissa metsänviljelykokeissa saatiin sellaisia tuloksia, jotka ovat houkuttaneet koostamaan rullataimien viljelyketjun käytännössä toimivaksi kokonaisuudeksi. Tämän takia rullataimien koneellisessa tuotannossa tarvittava koneikko on kehitetty sille asteelle, että se on toimintavarma. Verrattaessa koneikkoa muihin koulittujen paakkutaimien tuotantomenetelmiin on todettu, että rullataimikoneikolla työsaavutukset ovat kaksinkertaiset (vrt. esim. A homemade . . . 1964 ja Laitinen 1964) tai sitäkin suuremmat (vrt. esim. Fertilex-Automatic . . . 1966 ja Mikola 1969) kuin muita menetelmiä käytettäessä.

Koulittuja rullataimia voidaan kasvattaa muokkaamattomalla, vain tasatulla alustalla. Hoito- ja kasvatuspaikan perustaminen sekä valmistaminen vaativat siis vähemmän kustannuksia kuin paljasjuurisia taimia tuotettaessa. Mikäli rullataimet koulitaan vain sulan maan aikana, ei taimien kylmävarastointia myöskään tarvita. Mainitut seikat vähentävät rullataimituotannon perusinvestointeja paljasjuurisiin taimiin verrattuna. Vastaavasti koneellinen rullataimituotanto tarvitsee enemmän koneinvestointeja. Rullataimien kasvatusvaihe taimitarhalla voi jäädä melko lyhyeksi, jos taimet toimitetaan jo koulintakesänä istutukseen. Automaattinen kastelu ja lannoittaminen (Nisula 1975) saattavat myös vähentää rullataimien tuotantokustannuksia. Tutkimuksessa on esitetty laskelma (taul. 28) tuotantokustannusten muodostumisesta.

Tämän tutkimuksen mukaan rullataimien istutusaika on pitempi kuin paljasjuuristen taimien. Vastaavan tapainen työkauden pidentäminen on mahdollista taimitarhalla, sillä rullataimia voidaan koulia koko sulan maan ajan ja koulia voidaan myös kasvussa olevia taimia.

Rullataimien kuljetus metsään ja istutusalueella on hankalampaa kuin paljasjuuristen taimien kuljetus. Tämä johtuu paakusta ja sen koosta. Jos toisissa paakkutaimilajeissa, kuten turveruukku- ja paperikennotaimia kasvatettaessa, käytetään matalampaa turvealustaa, niin näin voidaan tietenkin menetellä myös rullataimien osalta. Näin kuljetusajoneuvon lastausmahto suurenee ja ihmisvoiminkin voidaan kuljettaa enemmän taimia yhdessä taakassa. Sekä taimien kone- että ihmisvoimin suoritettu kuljetus on verrattain kallista. Traktoria käytettäessä metsäkuljetusten kustannuksia usein lisää se, että kuljetusajoneuvo on tuotava pitkien matkojen takaa ja kuljetuksen tehoaika saattaa jäädä vähäiseksi. Tämän vuoksi saatetaan karttaa rullataimien istuttamista sellaisille alueille, joihin taimia ei pystytä kaukokuljetuksin toimittamaan kantomatkan päähän.

Rullataimien kuljetuksessa esiintyvä ongelma johtuu taimipaakun raaka-aineena käytettävästä kasvuturpeesta. Usein turve joudutaan kuljettamaan taimitarhalle kaukaa, jopa rautatiekuljetuksina. Periaatteessa rullakoulinta voitaisiin siirtää jopa turvesuolle. Täältä voitaisiin valmiit rullat lähettää suoraan istutusalueita lähellä oleviin hoitopisteisiin, joissa olisi varmistauduttava taimien asiallisesta kasvatuksesta. Sinne voitaisiin järjestää esimerkiksi automaattinen kastelu- ja lannoituslaitteisto. Varsinkin jos taimien maantiekuljetuskuormien hyötykuorman osuus suurkuormien kuormaustilasta (t_2) jää istutusalueiden pienuuden ja hajallaan sijainnin johdosta vähäiseksi mutta istutusalueet kuitenkin sijaitsevat pääasiassa autoteiden läheisyydessä, saattaisi muodostua kustannussäästöjä, mikäli taimet kuljetettaisiin päivittäin hoitopisteistään istutusalueille. Menettely saattaisi jonkin verran lisätä taimien metsittämisarvoa.

Jos istuttaja huolehtisi itse myös taimien hoidosta, lähestyttäisiin eräänlaista istutusurakointijärjestelmää, jossa istutusurakoitsija voisi metsänomistajan kanssa sopia koko istutustoimenpideketjun hoitamisesta. Koulutuksen ja saadun kokemuksen myötä olisi sopimusehtoihin mahdollista liittää istutustyön onnistumista koskevia takuuklausuuleja, jotka varmentaisivat istutustyön kunnollisen suorittamisen ja kannustaisivat samalla yrittäjää kehittämään metsänviljelyn toimenpideketjua varmempaan suuntaan.

Tällöin saattaisi taimien kuljetus helpottua. Urakoitsija voisi kotoa lähtiessään ottaa mukaansa taimia päivän tarpeen. Saattaisi löytyä taimien metsäkuljetuksellekin sopiva ratkaisu, sillä taimien kuljetusajoneuvolla olisi jokapäiväistä käyttöä ja sen kantavuuden tarvitsisi olla vain yhden tai muutaman istuttajan päiväsaavutuksen suuruinen. Näin taimet kulkeutuisivat istutusriveille ilman, että istuttaja tai taimien kantaja kulkee edestakaisin. Istutusurakointijärjestelmän kehittäminen saattaisi olla selvittelyn arvoinen asia.

Istutus on rullataimia käytettäessä metsänviljelyn kalleimpia kustannuseriä. Sitä on yritetty koneellistaa siinä onnistumatta. Rullataimien istutus on jäänyt käsinistutuksen asteelle. Tosin rullataimia käsin istutettaessa vaikeudet ja kustannukset on todettu suunnilleen yhtä suuriksi kuin paljasjuuristen taimien istutuksessa.

Käytännössä on rullissa myytyjen männyn rullataimien hinta yleensä ollut 1 + 1 -vuotiaiden paljasjuuristen taimien suuruinen. Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarha on kuitenkin soveltanut hinnoittelua, jossa rullissa lähetetyt rullataimet ovat

olleet pari penniä halvempia kuin leikattuina toimitetut. Näistä on puolestaan peritty sama hinta kuin paljasjuurisista taimista. Tämän suuntainen hinnoittelu viittaa siihen, että taimitarhalla rullataimien tuotantokustannusten on katsottu olevan suunnilleen paljasjuuristen taimien tuotantokustannusten suuruisia. Leikola (1976) arvioi peltojen metsittämiskustannukset rullataimia ja paljasjuurisia taimia käyttäen suunnilleen saman suuruisiksi.

9. TIIVISTELMÄ

Johdanto

Tutkimuksessa selvitellään tekijän (N i s u l a 1965) kehittämän uudenlaisen taimien tuottamistavan soveltuvuutta taimitarhakäyttöön sekä metsäviljelyn toimenpideketjuun. Tekijän menetelmää on yleensä kutsuttu Nisula- tai rullataimimenetelmäksi. Keksinnölle on tunnusomaista pääasiassa, että koulittavat taimet asetellaan määrävälein riviin, esim. 15 cm leveän muovikalvon päälle sirotetulle ohuelle turvekerrokselle siten, että juuret joutuvat kasvualustalle tämän lapepinnan suuntaisesti, mutta maanpäälliset osat jäävät juurien suuntaisina nauhan ulkopuolelle. Kun muoviturvenauha sitten kääritään rullaksi, juuret joutuvat rullan kierteisiin turvekerroksen ja käärimisalustana käytetyn muovikalvon väliin. Kun rulla nostetaan pystyyn, tulevat taimet luonnolliseen kasvuasentoon. Noin 20—25 cm läpimittaiseen rullaan voidaan koulia esim. 30—50 tainta.

Tutkimustehtävä

Tutkimuksen tavoitteena on ollut

— kehittää koneellinen rullataimien tuotantoprosessi ja siinä tarvittavat työmenetelmät, koneet ja laitteet

— selvittää rullataimien hoitoon ja kasvatukseen liittyviä käytännössä esille tulevia kysymyksiä ja etsiä keinoja taimitarhan kausityön vähentämiseksi

— selvittää rullataimien kuljettamiseen ja istuttamiseen liittyviä ongelmia ja kysymystä siitä, voidaanko rullataimia käyttäen pidentää istutuskautta

— tarkkailla rullataimien menestymistä istutusalueilla ja seurata niiden juuriston kehittymistä

— tehdä päätelmiä rullataimimenetelmän mahdollisuuksista taimitarhalla ja metsänviljelyn toimenpideketjussa

Rullataimien tuottaminen

Kuvassa 1 (s. 16) nähdään ne taimitarhat, joissa tutkimus- ja kehittämistyötä on suoritettu sekä ne istutusalueet, joista on saatu taimistojen kehitystä kuvaavia tietoja.

Kehitetty rullataimien koulintakoneikko esitetään konekytkelmänä kuvassa 3 (s. 18), ja siihen kuuluvat yksittäiset koneet ja apulaitteet kuvissa 4—16 (s. 19—36).

Koulintakoneikon tuotos sekä taimien tuottamisessa tarvittava käyttövoima ja raaka-aineet voidaan laskea kaavojen 1—13 (s. 38—51) avulla. Koulintakoneikkoa esittelevien kuvien viitenumerot on esitetty liitteessä 1 (s. 105) sekä kaavoissa käytettyjen suureiden tunnukset ja mittayksiköt liitteessä 2. Koulintakoneikkoa käyttäen voidaan tuottaa n. 60 000—80 000 tainta/8 h, jos työryhmään kuuluu 8 koulijaa, rullaaja ja traktorin kuljettaja eli yhteensä 10 työntekijää.

Taimien kasvattaminen taimitarhalla

Taimitarhakasvatuksen pääsuuntaviivoja etsittäessä on havaittu, että rullataimia voidaan kasvattaa kustannuksia säästäen avomaaolosuhteissa mieluummin kuin muovihuoneessa (vrt. kuva 17, s. 54). Tarvittaessa näyttää rullataimia olevan mahdollista koulia pitkin sulan maan aikaa. Näin vähennetään taimitarhan kausiluontoisen työn määrää. Koulittavat taimet voidaan nostaa suoraan pellolta koulittaviksi. Tämän takia ei tarvita koulittavien taimien kylmävarastointia. Rullataimien edullisin hoitopaikka lienee kovapohjainen tanner, mikä on halvempi ratkaisu kuin tavanomainen muokattu taimitarhamaa. Rullataimien tasaista kastelua varten on kehitetty automatisoitu laitteisto. Rullien kenttätiheys voidaan valita tilantarpeen mukaan asettelemalla rullat kasvamaan hoitokentälle halutun välimatkan päähän toisistaan (kuva 19, s. 59). Taimitarhassa neliömetrillä kasvatettavien taimien lukumäärä voidaan laskea yhtälöstä 14 (s. 59). Taimet voidaan viedä metsään joko rullina tai leikellä ne valmiiksi yhden taimen paakuiksi. Työntekijä ehtii päivässä leikata ja lajitella noin 5 000 tainta.

Metsänviljelyn tekniikka

Varsin käyttökelpoiseksi kauko- ja lähikuljetusmenetelmäksi on osoittautunut ns. lavakuljetus, jolloin moottoriajoneuvo on varustettu muutamilla päällekkäisillä lavoilla, joille rullat voidaan lastata vieri viereen tiukaten. Ajoneuvon lastaus- ja purkausaika saadaan kaavasta 15 (s. 63) ja kuljetusaika yhtälöstä 16 (s. 63). Ihmisvoimaisessa lähikuljetuksessa voidaan käyttää kantoreppua ja -vartaita (kuva 21, s. 65) tai varsinaisessa istutustyössä käytettävää kanto- ja purkaustelinettä (kuva 22, s. 66). Ihmisvoimaisen kuljetuksen ajanmenekki istutusalueella on laskettavissa kaavasta 17 (s. 65).

Taimien kantamista istutusalueella koskevia suoritusarvoja nähdään taulukosta 16 (s. 66). Nämä suoritusarvot riippuvat käytännössä hyvin paljon työmaan istutusjärjestyksestä, jota on käsitelty teoreettisten mallien avulla (vrt. kuvat 23—25, s. 67—69).

Rullataimet on istutettu käsin kourukuokkaa ja kuopan laitaan istuttamistapaa käyttäen. Taulukoista 17 (s. 72) ja 19 (s. 73) nähdään varsinaisen istutustyön etenemisnopeuden vaihtelu. Kaavoista 18 ja 19 (s. 74) voidaan laskea istutusaika tainta kohden. Kuvista 26—27 (s. 71) nähdään varsinaisen istutusajan jakautuminen työvaiheisiin sekä hakkuutähteiden ja kivisyyden vaikutus istutustyön etenemisnopeuteen.

Taimistojen kasvu ja kehitys

Rullataimien kasvua ja kehitystä on seurattu viljelykokeiden avulla. Oma aineisto esitellään kuvassa 1 (s. 16) ja taulukossa 20 (s. 76). Aineistojen sisäisestä laadusta saadaan tietoja taulukoista 21—26 (s. 76—86). Koetaimistojen kasvu ja niiden eloonjääminen selviävät kuvista 29—33 (s. 77—85), joissa on esitetty omien tulosten rinnalla toisten tutkijoiden saamia tuloksia. Rullataimien juuriston kehitystä kuvataan diagrammoina kuvissa 34 ja 35 (s. 87). Yleisenä havaintona voidaan todeta, että pitkin kesää istutetut rullataimet näyttävät menestyvän suunnilleen samalla tavoin kuin keväällä istutetut paljasjuuriset taimet. Täten tuntuu mahdolliselta rullataimia käyttäen pidentää männyntaimien istutuskautta eli näin vähentää istutuksen kausiluonteisuutta.

Esimerkki tulosten hyväksikäytöstä

Taulukossa 28 (s. 90—91) on esimerkkilaskelma rullataimilla suoritetun metsänviljelyn muuttuvien kustannusten koostumisesta. Sarakkeesta 2 selviää laskelmissa käytetty yhtälö ja sarakkeesta 4 työsuoritusten ja tarvikkeiden yksikköhinta. Kokonaiskustannukset nähdään sarakkeista 6 ja 7.

Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa on käsitelty metsänviljelyn toimenpideketjua taimitarhalta varttuneeseen taimistoon saakka. Tutkimuksen laaja-alaisuuden takia on jouduttu pysyttelemään lähellä käytännön tavoitteita ja pyrkimään sellaisen toimenpideketjun koostamiseen, joka soveltuisi käytännössä toteutettavaksi ja jolla päästäisiin likimain samoihin tuloksiin kuin esimerkiksi paljasjuurisia taimia käytettäessä.

Kehitetyn tuotantokoneikon avulla on mahdollista tuottaa rullataimia lähimain samoilla kustannuksilla kuin paljasjuurisia taimiakin tuotetaan. Paakku saattaa tehdä niiden kuljetuksen vähän hankalammaksi kuin paljasjuuristen, mutta itse istutus on taas puolestaan suunnilleen yhtä vaikeaa. Vaikka rullataimet on istutettu pitkin kesää, ne ovat menestyneet suunnilleen yhtä hyvin kuin keväällä istutetut paljasjuuriset taimetkin.

KIRJALLISUUSLUETTELO
REFERENCES

ALDHOUS, J. 1972. Nursery practice. For. Comm. Bull. 43: 1—184.

ALLEN, K. 1959. Improvements in or relating to mat structures, especially seed planting mats. Englantilainen patentti 921107: 1—3.

ANSTEY, B. 1946. Seed packages. Englantilainen patentti 605799. Lähde: Patents for inventions. Group XVII: 60 Publ. The Patent Office. London.

APPELROTH, S.-E. 1969. Tutkimus metsänistutuskoneista. Summary: A study of tree planting machines. Commun. Inst. For. Fenn. 68(5): 1—83.

—»— 1972. Ennakkotietoja metsänistutuksen palkkaperustetutkimuksesta. 72 s. Julk. Metsäntutk. lait., metsäteknologian tutkimusosasto. Moniste.

BRANDT, F. 1965. Apparatus for testing the germination of seeds. Amerikkalainen patentti 3209492: 1—16.

BROOKS, M. 1962. Horticultural procedure and apparatus. Amerikkalainen patentti 3063197: 1—15.

BROWN, R. 1972. The use of container and ball-rooted planting stock systems in Sweden and Finland. Scot. For. 26(4): 268—284.

BROWN, R. & LOW, A. 1969. »Nisula» transplants. Rep. For. Res. For. Comm. 39—40.

CHAUZAMY, G-A. & CHAUZAMY, M. 1954. Machine planteuse. Ranskalainen patentti 1108308: 1—5.

DENGLER, A. 1972. Waldbau. 4. Aufl. II Band. 264 s. Hamburg. Verlag Paul Parey.

ETHOLEN, K. 1972. Männyn viljelyn tulos Pohjois-Suomessa ja siemenen alkuperä. Summary: The succes of artificial regeneration of scots pine in northern Finland and origin of seed. Folia For. 160: 1—27.

Fertilex-Automatic potting machine. 1966. For. Equipm. Note, FAO A. 47: 2.

FRITSCH, R. 1968 a. Neue Methode der Pflanzenanzucht in Finnland. Deut. Gartenb. 15(7): 190—191.

—»— 1968 b. Rationell und originell, eine neue Methode der Forstpflanzenanzucht aus Finnland. Sozialist. Forstw. 18(7): 212—214.

FROLAND, Å. 1973. Torvbandmetoden. Norsk Skogsbr. 19(1): 5.

GRAY, E. & GRAY, D. 1912. Seed-package. Amerikkalainen patentti 1160279. Lähde: The official gazette of the United States Patent Office 220(3): 742.

HEINO, J. 1972. Föryngring med rullplantor. Skogen 59(1): 18—19.

HERRANEN, T. 1970. Rullataimien kuljetustutkimus, Metsähallitus, kehittämisj. tutkimuselost. 98: 1—17.

HITT, G. 1971. Mechanization in forest tree nurseries in the United States. Tree Plant. Notes 22(3): 23—29.

A homemade tree-potting system. 1964. For. Equipm. Note, FAO A. 34: 2.

HOKKA, P. & HERRANEN, T. 1976. Ennakkotietoja aurausalueille v. 1966—70 viljeltyjen taimistojen inventoinnista. 18 s. Metsähallitus, kehittämisj. Moniste.

HUURI, O. 1969. Katsaus metsänviljelytekniikan kehitykseen. Lehto, J. (toim.) Metsänviljely s. 325—370. Julk. KLM Tapio. Helsinki. Kirjayhtymä.

ISAKSEN, I. 1954. Sätt för upprullning av pappersbanor och liknande. Ruotsalainen patentti 174204: 1—3.

JACKSON, H. 1971. Nisula transplanting machine. Gard. Chron. 170(16): 16—17.

JUKKOLA, S & SAVOLAINEN, R. 1973. Puutavaran autoonkuormaus ja puutavara-autojen ajonopeus. Summary: Loading timber onto trucks and the driving speed of timber trucks. Metsätehon tiedotus 323: 1—28.

KAHALA, M. 1972. Puutavaran metsäkuljetus kuormatraktorilla. Summary: Forest haulage of timber by forwarder. Metsätehon tiedotus 310: 1—38.

KALLIO, K. 1965. Valtion metsien uudistusalojen inventoinnin tuloksia. Metsätal. Aikak.l. 82(28): 121—126.

KAVELDIGET, O. 1973. Engelsk plantskole satser på planteproduksjon etter torvbandmetoden. Norsk Skogsbr. 19(4): 98—100.

KIESEL, K. 1957. Vorrichtung zum kernlosen Aufrollen von Bahnen, insbesondere Cellulose-Holzschliff- u.dgl. Bahnen. Saksalainen patentti 962220: 1—5.

KOCH, H. & KOCH, T. 1957. Method of packaging plant seedlings and apparatus therefor. Englantilainen patentti 831813: 1—6.

KOHMANN, K. 1975. Produksjonen av barrotsplanter må avvikes. Norsk Skogsbr. 21(3): 15—17.

KORFMANN, R. & KUNZE, O. 1949. Vorrichtung zum Herstellen von banderolierten Wickheln aus endlosen steifen Bahnen, insbesondere Dachbedeckungsbahnen. Saksalainen patentti 939421: 1—5.

KŐSULIČ, M. 1972. Produkce Sazeníg modifikací Nisulovy metody. Lesnická Práce 51(12): 556—560.

KRAUSE, B. 1954. Planting machine for saplings. For. Equipm. Note, FAO A. 3: 2.

LAITINEN, J. 1964. Männyn istutus turveruukuissa. Metsätal. Aikak.l. 81(4): 139—144.

LANG, H. 1973. Forstpflanzen als Topf- und Ballenpflanzen. Allg. Forstztg. 84(6): 139—140.

LEHTO, J. & SIMOLINNA, J. 1966. Metsäpuiden taimien kasvattaminen. 235 s. Helsinki. Kirjayhtymä.

LEIKOLA, M. 1976. Maanmuokkaus ja pintakasvillisuuden torjunta peltojen metsittämisessä. Summary: Soil tilling and weed control in afforestation of abandoned fields. Commun. Inst. For. Fenn. 88(3): 1—101.

LEIKOLA, M. & HUURI, O. 1974. Ennakkotuloksia Etelä-Suomen runkotutkimuksesta v. 1970—1973. Metsäntutk.lait., metsänviljelyn koeas. tiedonant. 11: 1—31.

LEIKOLA, M., METSÄMUURONEN, M., RÄSÄNEN, P. K. & TAIMISTO, E. 1977. Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967—1975. Summary: The development of Scots pine plantations in south-western Finland in 1967—1975. Folia For. 312: 1—27.

LEONARD, J. 1972. La forêt finlandaise. 43 p. Edit. Union des Coopératives Forestières D'Aquitaine. Impression de voyage d'un groupe de forestiers Landais.

LESKINEN, U. 1966. Plasthus och torv i plantskolan. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 64(8): 701—722.

Lesoposadotšnij material »Brika». 1974. 136 s. Zusammenfassung: Ballenpflanzen »Brika». 136 s. Latvijskij Nautšno-issledovatelskij Institut. Riga.

LOW, A. 1971. Tubed seedling research and development in Britain. Forestry 44(1): 27—41.

LOW, A. & BROWN, R. 1970. Roll transplanting and intensive seedling produktion and forest use of roll (»Nisula») transplants. Rep. For. Res. For. Comm. 45—46, 49—50.

—»— 1971. Special types of planting stock and forest use of roll transplant. Rep. For. Res. For. Comm. 31—35.

—»— 1972. Produktion and use of ballrooted planting stock in Sweden and Finland. For. Comm. Res. Dev. Paper 87: 8—18.

Maschinensystem für Forstbaumschule. 1964. 35 s. Herausg. Technische Universität Dresden, Institut für Forstliches Ingenieurwesen Tharandt. Moniste.

»Melap» device for balling planting stock. 1959. For. Equipm. Note, FAO A. 15: 1.

Methods and machines used in North American nurseries. 1960. For. Equipm. Note, FAO A. 21: 1—41.

METSÄMUURONEN, M., KAILA, S. & RÄSÄNEN, P. K. 1978. Männyn paakkutaimien alkukehitys vuoden 1973 istutuksissa. Summary: First-year planting results with containerized Scots pine seedlings in 1973. Folia For. 349: 1—00.

MIKOLA, P. 1969. Comparative observation on the nursery technique in different parts of the world. Acta For. Fenn. 98: 1—24.

MOEN, H-O. 1972. Skogskulturen må effektiviseres. Skogseieren 59(10): 11, 39.

MRÁZEK, F. 1972. Vysledky pěstováni a výsadby dvouletych borovic Nisulovou metodou. Lesnická Práce 51(9): 425—427.

MTM-2. MTM:n kehitysmuoto. 1970. 2. painos. 63 s. Kust. Suomen MTM-yhdistys r.y. Tampere. Tampereen Kirjapaino-Oy.

MUHLE, O. 1973. Pflanzenanzucht nach dem Rollenverfahren. Allg. Forstzeitsch. 28(36): 828—829.

NEBRICH, C. 1930. Vorrichtung zum Aufrollen von Papier. Saksalainen patentti 495917: 1—3.

—»— 1931. Vorrichtung zum Aufrollen von Papier. Saksalainen patentti 517230: 1—3.

NIELSEN, R. 1959. Gerät zum Einsetzen von zwischen den Lagen einer Bandrolle in Querlage befestigten Pflanzenstecklingen in den Boden. Saksalainen patentti 1047512: 1—5.

NIIRANEN, J. 1971. Rullataimi — vaativien olosuhteiden paakkutaimi. Metsälehti 35: 6.

—»— 1972 a. Framställning av björkplantor med hjälp av torvrullar. Skogsbruket 42(3): 72—75.

—»— 1972 b. Användning av torvrullar vid produktion av skogsplantor. 8 s. Årssk. f. Norske Skogsplanteskoler.

NISULA, P. 1962. Aikakello ja pistokoemenetelmän vertailu. Summary: A comparison between the stop-watch method and the random-sample method. Silva Fenn. 112(4): 1—20.

—»— 1965. Tapa taimien varsinkin puun taimien tuottamiseksi. Suomalainen patentti 46576: 1—10.

—»— 1966. Rullataimimenetelmä. Summary: Roll-seedling method. Metsätal. Aikak. l. 83(12): 519—521.

—»— 1967. Havaintoja koulittujen rullataimien menestymisestä. Summary: Observations on the thriving of seedlings transplanted in rolls. Metsätal. Aikak. l. 84(4): 131—132, 138.

—»— 1969. Maankäsittelylaite. Suomalainen pat. hak. 499: 1—9.

—»— 1970 Ympärileikattu taimi — uusi taimityyppi. Metsälehti 9: 9.

—»— 1972 a. Erilaisten rullataimien menestymisestä viljelyaloilla. Julk. Metsäntutk.lait., metsänviljelyn koeas. tiedonant. 5: 1—21.

—»— 1972 b. Rullataimien juurista. Metsä ja Puu 11: 17—19.

—»— 1975. Liikkuva sadetuslaitteisto. Summary: Revolving sprinkler. Folia For. 228: 1—27.

—»— 1976. Muovihuoneen sadetuskone. Summary: A sprinkler for a plastic greenhouse. Folia For. 258: 1—14.

—»— & MÄKI-NISULA, V. 1967. Maankäsittelylaite. Suomalainen patentti 37545: 1—3.

NOVOSELTSEVA, A. 1973. O Sovetsko-Finskom simpoziume po lesovosstanovleniju. Lesn. Hoz. 3: 86—87.

OHSOL, E. 1966. Planting seeds in a skin foam sheet. Amerikkalainen patentti 3257754: 1—9.

PERSSON, N. EDWARDSSON, N. & BORG, F. 1960. Metod att framställa jordkrukor för skolning av plantor samt maskin för metodens utövning. Ruotsalainen patentti 173677: 1—4.

Peruslannoite Grundgödsel. Kekkilä n:o 11 5-11-5. 1 s. Kekkilä Oy:n tuoteseloste.

POHTILA, E. 1972. Tutkimuksia aurattujen alueiden metsänviljelymenetelmistä Koillis-Suomessa. Tulokset vuosina 1967—68 tehdyistä männyn kylvö- ja istutuskokeista. Helsingin Yliop., metsänhoitot. lait. tiedonant. 6: 1—97.

POHTILA, E. 1974. Tuloksia metsänviljelyn runkotutkimuksesta. Metsäntutk.lait., Rovaniemen tutkimusas. tiedonant. 6: 28—41.

—»— 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alueiden metsänviljely Lapissa. Commun. Inst. For. Fenn. 91(4): 1—98.

Pricking and polythene bag filling machine. 1968. For. Equipm. Note. FAO A. 56: 1.

Proceedings of the North American containerized forest tree seedling symposium. Denver, Color. 26.—29. 4. 1974. Great Plains Agric. Counc. Publ. 68: 1—458.

PUUSTJÄRVI, V. 1973. Kasvuturve ja sen käyttö. 173 s. Kust. Turveteollisuusliitto r.y. Helsinki. Liikekirjapaino Oy.

PÖYHTÄRI, O. 1970. Metsähallinnon Perä-Pohjolan piirikuntakonttorin männyn ja kuusen istutustutkimukset aurausalueilla. Metsähallitus, kehittämisj. tutkimusselost. 102: 1—65.

QUILLEN, E. & BILLERBECK, J. 1933. Method of preparing nursery products for transplanting, compound and package therefor. Amerikkalainen patentti 1964689. Lähde: The official gazette of the United States Patent Office 443(4): 1042.

ROTTY, R. 1971. Methods and machines used in North American nurseries. For. Equipm. Note, FAO A. 21. 60: 1—41.

RUSTEN, A. & LANDMARK, L. (toim.) 1968. Produksjon av skogsplanter. 199 s. Julk. Det Norske Skogsselskap. Oslo. Nikolai Olsens Boktrykkeri.

SANDVIK, M. 1967. Nye produksjonmetoder for skogsplanter. Norsk Skogbr. 6: 197—199.

—»— 1972. Kopparforsmetodens, paperpotsmetodens og torvbandmetodens anvendelighet under forskjellige forhold. 10 s. Årssk. f. Norske Skogsplanteskoler.

—»— 1975. Rask etablering og godt tilslag av potte- og torvplanter. Norsk Skogbr. 21(3): 12—14.

SCHINDLER, G. 1951. Seed tape. Amerikkalainen patentti 2571491: 1—5.

Seedling potting device. 1959. For. Equipm. Note, FAO A. 1. Tec.: 2.

SI-järjestelmä. 1976. 23 s. Julk. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki. Sanomapaino.

A simple device for making paper pots. 1955. For. Equipm. Note, FAO A. 7: 2.

Soil-potta press. 1954. For. Equipm. Note. FAO A. 3: 1.

SOLIN, P. 1970. Männyn istutuksen antamista tuloksista Lapin piirimetsälautakunnan alueen eteläosissa. Helsingin Yliop. metsänhoitot. lait. tiedonant. 3: 1—69.

ŠTAUD, V. 1975. Příspěvek křešení technologie sklizně a distribuce sazenic. Abstract: A contribution to the solution on the technology of the harvesting and distribution of plants. Práce Vúlhm, 47: 75—100.

Säterin polyeteenikalvo. 1966. Säteri Oy:n moniste: 1—8.

TAKAGI, A. & MASUDA, T. 1967. Paperiastiaryhmä taimien kasvatusta tai vastaavaa varten. Suomalainen patentti 48401: 1—18.

—»— MASUDA, T. & SHIMIZU, A. 1971. Menetelmä taimien kasvattamista ja istuttamista varten tarkoitettujen kennojen valmistamiseksi. Suomalainen patentti 49765: 1—16.

TAKALA, P. 1971. Taimikon hoito. Tapion Taskukirja s. 135—141. 16. uudistettu painos. Julk. KLM Tapio. Helsinki. Kirjayhtymä.

TIETZ, C. & TIETZ, P. 1959. Method of producing a live grass package. Amerikkalainen patentti 2876588: 1—5.

Tree planting practices for arid areas. 1955. FAO For. Developm. Pap. 6: 1—109.

Tree planting practices in tropical Africa. 1956. FAO For. Developm. Pap. 8: 1—302.

TURTIAINEN, M. & VALTANEN, J. 1974. Metsänviljelytutkimuksen välituloksia Pohjanmaan ja Kainuun metsäaurausalueilta. Metsäntutk. lait., Pyhäjoen tutkimusas. tiedonant. 8: 1—16.

TURUNEN, T. & HALLIKAINEN, T. 1973. Menetelmä taimipaakkujen valmistamiseksi koneellisesti. Suomalainen patentti 49469: 1—5.

VALTANEN, J. 1972. Paakkutaimet metsänviljelyssä. Metsälehti 10: 6.

VALTANEN, J. 1974. Avoalan suuruuden vaikutus männynviljelyn tulokseen Pohjois-Suomessa. Metsäntutk.lait., Pyhäkosken tutkimusas. tiedonant. 9: 1—11.

WALTERS, J. 1961. The planting gun and bullet: a new tree-planting technique. For. Chron. 37(2) 94—95, 107.

WATSON, J., LILLY, D. & CONOVER, E. 1964. Seed planting method and apparatus for its pratice. Amerikkalainen patentti 3160986: 1—7.

WEDGE, R. 1965. Plant package and method of making the same. Amerikkalainen patentti 2766553: 1—10.

WESTON, L. 1957. Seed and fertilizer tape. Amerikkalainen patentti 2812618: 1—5.

WIBECK, E. 1923. Om missbildning av tallens rotsystem vid spettplantering. Resume: Über Missbildung des Wurzelsystems der Kiefer bei Stieleisenpflanzung. Medd. Statens Skogsförs. anst. 20: 262—303.

YLI-VAKKURI, P., RÄSÄNEN, P. K. & SOLIN, P. 1969. Metsänviljelyn antamista tuloksista Lounais-Suomen, Itä-Hämeen, Itä-Savon, Keski-Suomen ja Kainuun piirimetsälautakuntien alueella. Helsingin Yliop., metsänhoitot. lait. tiedonant. 2: 1—92.

SUULLISET TIEDONANNOT
PERSONAL COMMUNICATIONS

ARONEN, O. 1977. Metsäteknikko, Metsänjalostussäätiön Pieksämäen taimitarhan hoitaja.

GRENMAN, L. 1967. Järvenpään Taimitarha Ky.:n omistaja.

KONTTINEN, K. 1977. Metsäteknikko, Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhan hoitaja.

Liite 1
Appendix 1

KUVIEN VIITENUMEROIDEN SELITYKSET
KEYS TO REFERENCE NUMBERS USED IN THE FIGURES

1 rullakoneen runko — *body of roll machine*
2 nostohihna — *hoisting belt*
3 koulintahihna — *conveyor belt for transplanting*
4 turpeen jakorumpu — *peat levelling roller*
5 rullauslaitteisto — *rolling mechanism*
6 pääterumpu — *end drum*
7 sirottelukotelo — *feed roll box*
8 muovirullan pitokela — *reel of plastic sheet*
9 uimurilaitteisto — *float mechanism*
10 päämoottori — *main engine*
11 apumoottori — *auxiliary engine*
12 kitkakytkin — *friction clutch*
13 kiilahihna — *cone belt*
14 nostohihnan vetoakseli — *pull shaft of hoisting belt*
15—17 sirottelurummut — *feed rolls*
18 muovikalvo — *plastic sheet*
19 nostohihnan ripa — *hoisting belt rib*
20—21 painotelat — *impression rollers*
22—23 vipuvarret — *lever arms*
24—25 ripustustangot — *suspension loops*
26 runko — *body*
27—28 käyttöakseli — *driving axle*
29—30 käyttövivut — *operating levers*
31 käärittävä rulla — *roll being made*
32—33 vipuvarsien pysäytystapit — *stop-pins of lever arms*
34—36 ketjuvälitys — *chain transmission*
37—38 epäkeskot — *eccentrics*
39 epäkeskojen käyttöakseli — *driving axle of eccentrics*
40—41 vipuvarsien (22—23) säädettävät ohjainvarret — *adjustable guide arms of lever arms (22—23)*
42—43 ohjainvarsien juoksupyörät — *rollers of guide arms*
44 ketjupyörä — *chain wheel*
45 säppiratas — *ratchet-gear*
46 laipparakennelma — *flange construction*
47 säppi — *latch*
48 säpen vetojousi — *draw spring of latch*
49 säpen käyttövipu — *operating lever of latch*
50 käyttövivun (49) haka — *clasp of operating lever (49)*

51 käyttövivun vetojousi — *draw-spring of operating lever*
52 laippa — *flange*
53 kitkakenkä — *friction shoe*
54 ripustustankoon (24) kiinnitetty pidätysrauta — *skid fixed to suspension loop (24)*
55 käyttövivun (56) vetojousi — *draw spring of operating lever (56)*
56 käyttövipu — *operating lever*
57 käyttövipujen ohjausvarret — *guide arms of operating lever*
58 turvenauhan tiivistysrulla — *peat strip packing roll*
59 Lawn-Beauty -kylvökone — *Lawn Beauty seeding machine*
60 kaavari — *belt-scraper*
61 epäkesko — *eccentric*
62 pohjalava — *bottom bench*
63 kolaketju — *rake conveyor*
64 kolaketjun vetoratas — *pull wheel of rake conveyor*
65 kolaketjun liikuttelumekanismin epäkesko — *eccentric of rake-conveyor moving mechanism*
66 kokoojakierukka — *collector spiral*
67 uimuri — *float*
68 alimmainen riparumpu — *lower ribbed drum*
69 ylimmäinen riparumpu — *upper ribbed drum*
70 välirumpu — *connecting drum*
71 teräketju — *blade chain*
72 rullan asetteluhaarukka — *roll setting fork*
73 katkaistujen rullien luovutushaarukka — *roll delivering fork*
74 työntösylinteri — *punch-cylinder*
75 työntösylinterin mäntä — *punch-cylinder piston*
76 asetteluhaarukan palautusvieterit — *pull-back springs of setting fork*
77 käyttömoottori — *driving motor*
78 öljypumppu — *oil pump*
79 kaksivartinen vipu — *double-armed lever*
80 teräsuoja — *cover of blade*
81 tankoritilän käyttöratas — *driving wheel of bar grate*
82 tankoritilän käyttöketju — *driving chain of bar grate*
83 ritilän tangot — *grate bars*
84 tankoritilän laahauslevy — *dragging plate of bar grate*

SUUREIDEN TUNNUKSET JA MITTAYKSIKÖT
PARAMETERS AND MEASUREMENT UNITS

Tehoajat (r) — Effective work times (r)

r_1 = kaksoisrullan koulimiseen kuluva aika, cmin [1])/rulla. Yhtälöt (1) ja (4), s. 38 ja 40 — *time consumed in transpanting a double roll, cmin [1])/roll. Functions (1) and (4), p. 38 and p. 40.*

r_2 = koulijan ajanmenekki, cmin/taimi/koulija. Yhtälö (2), s. 38 — *transplanter's time consumption, cmin/plant/transplanter. Function (2), p. 38.*

r_3 = 3,6 cmin/taimi/koulija, keskimääräinen ajanmenekki. Yhtälö (3), s. 40 — *3,6 cmin/plant/transplanter, average time consumption. Function (3), p. 40.*

r_4 = taimirullien traktorikuljetuksen työaika, cmin/taimi. Yhtälö (6), s. 46 — *work time for tractor transportation of roll plants, cmin/plant. Function (6), p. 46.*

r_5 = 0,1258 cmin/taimi, turpeen lastauksen keskimääräinen työaika. Yhtälö (7), s. 46 — *0,1258 cmin/plant, average work time of peat loading. Function (7), p. 46.*

r_6 = 0,1167 cmin/taimi, koulittavien taimien keskimääräinen noutoaika. Yhtälö (8), s. 46 — *0,1167 cmin/plant, average collection time of seedlings for transplanting. Function (8), p. 46.*

r_7 = moottoriajoneuvon lastaajien ja purkajien yhteen laskettu ajanmenekki, cmin/kuorma. Yhtälö (15), s. 63 — *time consumption for loaders and unloaders, cmin/load. Function (15), p. 63.*

r_8 = taimien ihmisvoimaisen kuljetuksen ajanmenekki, cmin/taimi. Yhtälö (17), s. 65 — *time consumption for manual transport of plants, cmin/plant. Function (17), p. 65.*

r_9 = taimien varsinaisen istuttamistyön ajanmenekki, cmin/taimi. Yhtälö (18), s. 74 — *time consumption for planting of plants, cmin/plant. Function (18), p. 74.*

Työmaa-ajat (R) — Work-place times (R)

R_1 = 5,5 cmin/taimi/koulija, yhden koulijan ajanmenekki. Yhtälö (5), s. 44 — *5,5 cmin/plant/transplanter, average time consumption of one transplanter. Function (5), p. 44.*

R_2 = moottoriajoneuvon tarvitsema kokonaisaika, cmin/taimi. Yhtälö (16), s. 63 — *total time needed by motor vehicle, cmin/plant. Function (16), p. 63.*

R_3 = taimien istuttamistyön ajanmenekki, cmin/taimi. Yhtälö (19), s. 74 — *time consumption for planting of plants, cmin/plant. Function (19), p. 74.*

Käyttövoima ja -tarvikkeet (T) — Energy and rawmaterials (T)

T_1 = sähkön nimelliskulutus työmaa-aikana, kWh/taimi. Yhtälö (9), s. 48 — *nominal energy consumption during work-place time. Function (9), p. 48.*

T_2 = muovikalvon kulutus, g/taimi. Yhtälö (10), s. 49 — *plastic sheet consumption, g/plant. Function (10), p. 49.*

---

[1]) 1 cmin = 0,01 min.

[2]) Esimerkkiarvo, jota on sovellettu taulukkoa 28 laadittaessa — *Example value used in compiling Table 28.*

T_3 = irtotilavuutena määritetyn turpeen kulutus, cm^3/taimi. Yhtälö (11), s. 50 — *peat consumption, cm^3/plant, loose. Function (11), p. 50.*

T_4 = lannoitteen kulutus, g/taimi. Yhtälö (12), s. 51 — *fertilizer consumption, g/plant. Function (12), p. 51.*

T_5 = liiman kulutus, g/taimi. Yhtälö (13), s. 51 — *glue comsumption, g/plant. Function (13), p. 51.*

Muut merkinnät — Other parameters

M_1 = rullataimien lukumäärä, tainta/m^2. Yhtälö (14), s. 59 — *number of roll plants, plants/m^2. Function (14), p. 59.*

a = koulintahihnan nopeus, m/s — *speed of conveyor-belt, m/s.*

b = taimien koulintaväli rullassa, m — *transplanting distance between seedlings in the roll, m*

c = kaksoisrullassa olevien taimien lukumäärä, kpl-[80] [2]) — *number of plants in double rolls-[80]* [2])

d = hukkamuovin pituus, m/rulla — *plastic sheet wastage, m/roll.*

e = koulijoiden lukumäärä, henkilöä-[8] [2]) — *number of transplanters-[8]* [2]).

f = 0,1031 cmin/taimi, sisältää rullien lastauksen, traktorin peruutuksen ja purkauksen kentälle sekä traktorin peruutuksen konehalliin uutta lastausta varten — *0,1031 cmin/plant, including loading of rolls, reversing of tractor and unloading onto field, and reversing of tractor into machine-hall for another loading.*

g = kuljetusmatka hallista taimitarhalle traktorin peruutusvaiheeseen saakka, m — *transport distance from hall to nursery up to reversing-point of tractor, m.*

h = rullien kuljetuskärryn purkaus — *unloading of roll transport cart.*

h_1 = 0,0 cmin/taimi, jos traktorinkuljettaja purkaa kärryn veivaamalla ja jättää rullat silleen kentälle — *0,0 cmin/plant if tractor driver unloads the cart by cranking and leaves the rolls as they are on the field.*

h_2 = 0,0221 cmin/taimi, jos kuljettaja veivaa rullat kentälle ja tämän lisäksi oikoo muodostuneen taimirullapenkin; muuten rullat jäävät vierekkäin siihen asentoon, missä ne olivat kuljetuskärryn lavallakin — *0,0221 cmin/plant if driver unloads the rolls by cranking on the field and arranges the rolls in a straight line along the bed; otherwise the rolls remain side by side in the same position as they were on the transport cart.*

h_3 = 0,1341 cmin/taimi, jos traktorinkuljettaja nostelee taimirullat yksitellen kärryn lavalta ja sijoittaa ne tasaisen välimatkan päähän toisistaan. Tällöin taimirullien väliin jää tilaa, jolloin taimien latvusto jää vapaampaan tilaan — *0,1341 cmin/plant, if tractor driver does not unload by cranking but takes the rolls one by one off the cart and sets them down at even distances from each other. Thus some space is left between plant rolls and the plant shoots get more space.*

i = esirullaukseen ja rullan päättämiseen kuluvan muovin osuus prosentteina taimirullaan käytetyn muovin pituudesta, %-[10] [2]) — *amount of plastic sheet consumed in making the core and finishing the roll as proportion of total length of plastic sheet used in making the roll, %-[10]* [2]).

j = muovikalvon leveys, cm-[17] [2]) — *width of plastic sheet, cm-[17]* [2]).

k = muovikalvon paksuus, cm-[0,02] [2]) — *thickness of plastic sheet, cm-[0,02]* [2]).

l = taimien koulintaväli, cm-[15] [2]) — *distance between seedlings in transplanting, cm-[15]* [2]).

m = muovin tiheys, g/cm^3-[0,922] [2]) — *density of plastic, g/cm^3-[0,922]* [2]).

n = valmiista rullasta mitatun turvekerroksen paksuus, cm-[0,7] [2]) — *thickness of peat strip measured in the roll, cm-[0,7]* [2]).

o = turpeen kokoonpuristumiskerroin, esim. 0,8-[0,8] [2]) — *shrinkage coefficient of peat, e.g. 0,8-[0,8]* [2]).

p = lannoitteen annostus turpeen irtotilavuutta kohden, kg/m^3-[4,0] [2]) — *recommended fertilizer dosage, kg/m^3 peat loose-[4,0]* [2]).

q = taimirullien kenttätiheys, esim. 0,8 — *field density of plants, e.g. 0,8.*

r = kuormatilan suuruus, m^3-[auto 12, traktori 4] [2]) — *volume of loading space, m^3-[lorry 12, tractor 4]* [2]).

s_1 = lastausmahto, rullaa/m^3 — *loading fit, number of rolls/m^3.*

s_2 = lastausmahto, tainta/m³-[2 700] [2]) — *loading fit, number of plants/m³-[2 700]* [2]).

t_1 = kuormausaste, esim. 0,9 — *loading degree, e.g. 0,9.*

t_2 = hyötykuorman osuus kuormatilasta ajomatkan aikana, esim. 0,4-[auto 0,4, traktori 0,32] [2]) — *useful load as a proportion of total loading space volume during hauling, e.g. 0,4-[lorry 0,4, tractor 0,32]* [2]).

u = yhteen laskettu lastaus- ja purkausaika, cmin/rulla-[auto 29,8, traktori 13,7] [2]) — *combined loading and unloading time, cmin/roll-[lorry 29,8, tractor 13,7]* [2]).

v = ykkösrullassa olevien taimien lukumäärä, kpl/rulla-[30] [2]) — *number of plants in the first roll-[30]* [2]).

α = edestakainen ajomatka, km-[auto 50, traktori 3] [2]) — *distance of hauling inc. return, km-[lorry 50, tractor 3]* [2]).

β = ajonopeus edestakaisen ajomatkan aikana, km/h-[auto 60, traktori 2,5] [2]) — *driving speed during hauling (inc. return), km/h-[lorry 60, tractor 2,5]* [2]).

γ = terminaalissa olevien lastaajien (purkajien) lukumäärä, henkilöä-[4] [2]) — *number of loaders (unloaders) at terminal-[4]* [2]).

δ = odotuskerroin-[auto 1,30, traktori 1,30] [2]) — *waiting time coefficient-[lorry 1,30, tractor 1,30]* [2]).

ε = ihmisvoimaisen joukkokuljetuksen (esim. kantoreppu) edestakainen noutomatka istutusvarastolta, m/taimi-[1,3] [2]) — *average distance of manual bulk transport of plants (e.g. with the carrying rack) to plant storage site and back, m/plant-[1,3]* [2]).

ε_2 = istuttajan kantovakalla (esim. kanto- ja purkausteline) kuljettamien taimien edestakainen noutomatka istutusvarastolta, m/taimi-[1,0] [2]) — *average distance moved by planter using carrying basket (e.g. the combined carrying and unrolling device) in collection of plants, m/h-[1,0]* [2]).

ζ_1 = ihmisvoimaisen joukkokuljetuksen (esim. kantoreppu) keskimääräinen kulkunopeus edestakaisella noutomatkalla, m/h-[2 500] [2]) — *average speed of manual bulk transport (e.g. with the carrying rack) over the average carrying distance of plants, m/h-[2 500]* [2]).

ζ_2 = istuttajan kantovakkaa (esim. kanto- ja purkausteline) käyttäessään saavuttama keskimääräinen kulkunopeus taimien edestakaisella noutomatkalla, m/h-[1 600] [2]) — *average transport speed of planter using carrying basket (e.g. the combined carrying and unrolling device) in collection of plants, m/h-[1 600]* [2]).

η = taimien välimatka istutusrivillä, m-[2,0] [2]) — *distance between plants on planting line-[2,0]* [2])

ϑ = varsinaisen istutustyön etenemisnopeus, m/h — *planting speed, m/h.*

ι = istutustyön etenemisnopeus työmaa-aikana, m/h-[230] [2]) — *planting speed during work-place time, m/h-[230]* [2]).

SUMMARY

Introduction

The suitability of a new seedling production method developed by the author (N i s u l a 1965) for use in the nursery and in forestation work chains is analyzed in this study. The method is usually called the Nisula method or the roll-transplant method. The main characteristic of the method is that the seedlings are placed, root inwards, at fixed intervals along a thin layer of peat sprinkled onto a plastic sheet (e.g. 15 cm wide) in such a way that the above-ground parts of the seedlings project out from the side of the strip. When the plastic- and- peat strip is subsequently rolled up the roots lie in the pockets between the peat strip and the plastic sheet used as wrapping material. When the roll is stood up on end, the plants are able to grow in their normal position. 30—50 seedlings, for instance, can be transplanted into a roll with a diameter of about 20—25 cm.

Purpose of the study

The aims of the study have been

— to develop a mechanized production process for roll transplants, and to develop the working methods, machines and equipment required in the process

— to clarify practical questions dealing with the growing and tending of roll transplants, and to determine ways of reducing the seasonal nature of nursery work

— to clarify problems connected with the transport and planting of roll seedlings, and to determine whether the use of such transplants can prolong the length of the planting season

— to observe the performance of roll transplants at the planting sites, and to follow the development of their root systems

— to draw conclusions about the possibilites of using the roll transplant method in the nursery and in the forestation work chain.

Production of roll seedlings

The location of the nurseries where research and development work has been carried out and the planting sites where information about seedling development has been obtained are shown in Figure 1.

The lay-out of the transplanting machine system is presented in Figure 3, and the individual machines and auxiliary equipment in Figures 4—16 (pp. 19—36). The output of the transplanting machine system and the energy consumption and amount of raw-materials required in plant production can be calculated using functions 1—13 (pp. 38—51). A key to the reference numbers used in the drawings of the transplanting machine system is given in Appendix 1 (p. 105) and the parameters and measurement units of the functions are given in Appendix 2. The transplanting machine system and a work team of 8 transplanters, 1 roll-maker and 1 tractor driver — 10 workers in all — can produce 60 000 to 80 000 transplants/8 h.

Raising roll seedlings in the nursery

While attempting to outline nursery techniques for roll transplants it was found that savings can be made by growing plants in the open rather than in the plastic greenhouse. If necessary, it appears that the seedlings can be transplanted at any time when the ground is not frozen. Thus the seasonality of work in the nursery is reduced.

Seedlings can be lifted for transplanting straight from the field and hence the plants do not need to be kept in cold storage. The best raising site for roll transplants may be a hard-packed field, which is a cheaper alternative than an ordinary cultivated nursery field. Automatic equipment has been developed for irrigating roll transplants. The number of plants per square meter in the nursery can be calculated from function 14 (p. 59). The plants can be taken to the planting site in the forest either in rolls or the individual balled plants can be first cut out from the rolls. A worker can cut and grade approx. 5 000 plants a day.

Planting technique

The so-called tray transport method has proved to be quite useful for long and short distance transport. In this method, the bed of the transporter contains a number of large trays fitted one above each other, the rolls being tightly packed side—by—side on the trays. The time taken in loading and in unloading the transporter are obtained from function 15 (p. 63) and during transport from function 16 (p. 63). In manunal short-distance transport, a carrying rack and stics (Fig. 21, p. 65) or a combination of a carrying and unrolling device (used in actual planting) can be used (Fig. 22, p. 66). Time consumption during manual transport at the planting site can be calculated from function 17 (p. 65).

Output data concerning the carrying of the plants at the planting site is given in Table 16 (p. 66). In practice, these figures depend very much on the planting order used at the planting site, the figures given here having been determined with the help of theoretical models (cf. Figures 23—25, pp. 67—69).

Roll transplants have been planted manually using a semicircular hoe, the plant being placed against the side of the planting hole. Tables 17 (p. 72) and 19 (p. 73) show the variation in the speed of planting work. Planting time per plant can be calculated from functions 18 and 19 (p. 74). The distribution of planting time into different work phases and the effect of logging waste and stoniness on the speed of planting are shown in Figures 26—27 (p. 71).

Growth and development of plantations

The growth and development of roll transplants have been followed in planting experiments. The results of our own experiments are presented in Figure 1 (p. 16) and Table 20 (p. 76). Detailed information about the quality of the material can be obtained from Tables 21—26 (pp. 76—86). The increment and survival rate of the trial plantings are given in Figures 29—33 (pp. 77—85), the results obtained by other researchers are also included in the figures. Development of the root system of the roll plants is illustrated in the diagrams in Figures 34 and 35 (p. 87). One general observation is that the roll transplants planted throughout the summer appear to have thrived approximately as well as the bare-rooted ones planted in the spring.

Example of the utilization of results

An example of the composition of variable costs in the artificial regeneration of forests, using roll transplants, is given in Table 28 (pp. 90—91). The function used in the calculations is shown in column 2, and the unit prices for work and raw-materials in columns 6 and 7.

Discussion

A forestation work chain, from the nursery to the young plantation, has been dealt with in this study. Owing to the wide scope of the study, an attempt has been made to keep close to practical questions, and to try and develop a system which would be practicable and which would give approximately the same results as, for instance, when bare-rooted seedlings are used.

Using the production machine system, it is possible to produce roll transplants at almost the same costs as in the production of bare-rooted seedlings. The ball of peat stuck onto the roots may make transport a little more awkward than the transport of bare-rooted seedlings, but, on the other hand, the actual planting is about equally difficult with both types of plant. Although the roll transplants have been planted throughout the summer, their performance has been about as good as that of the bare-rooted plants planted in the spring.

SUOMEN METSÄVARAT JA METSIEN OMISTUS 1971—1976

KULLERVO KUUSELA

Summary

FOREST RESOURCES AND OWNERSHIP IN FINLAND 1971—1976

HELSINKI 1978

ODC 905.2
ISBN 951-40-0336-5
ISSN 0026-1610

KUUSELA, K. 1978. Suomen metsävarat ja metsien omistus 1971—1976. Summary: Forest resources and ownership in Finland 1971—1976. Commun. Inst. For. Fenn. 93 (6): 1—107.

Valtakunnan metsien 6. inventoinnin kenttätyöt suoritettiin 1971—76. Piirimetsälautakuntien alueittaiset tulokset on julkaistu aikaisemmin. Tämä julkaisu käsittää koko maan ja 7 osa-alueen tulokset.

Metsämaan pinta-alan arvio on 19,7 milj. ha ja metsätalouden maan arvio 26,8 milj. ha. Erityisesti metsämaan ala mutta myös metsätalouden maan ala lisääntyvät. Syitä tähän ovat maatalouden maan metsittyminen ja turvemaiden parannus metsän kasvulle.

Puuston kuutiomäärän arvio on 1 520 milj. m^3 ja kasvun arvio 57,4 milj. m^3. Erityisesti 1970-luvulla puuston kuutiomäärä on alkanut suureta kasvua pienempien hakkuiden vuoksi. Kasvun suurenemisen kausi on alkamassa suoritetun metsänparannuksen ja uusien metsiköiden perustamisen seurauksena. Varsinkin nuoret männiköt lisäävät kasvua tulevaisuudessa.

Metsien laatu on parantunut ja puuston tukkiosuus jatkuvasti lisääntynyt. Metsissä on erittäin runsaasti korjuukypsää puusatoa ja sen määrä on lisääntymässä. Metsävarojen vajaa hyödyntäminen uhkaa huonontaa puuston laatua tulevaisuudessa. Korjuukypsän puusadon kasaantuminen on johtamassa suuriin lahoamisvahinkoihin.

Yksityismetsien osuuden kasvu on pysähtynyt ja niiden osuus on alkanut pienetä. Osakeyhtiöt ja yhteisöt lisäävät osuuttaan metsävaroista. Nämä omistajat ovat hoitaneet metsiään tehokkaimmin, mikä näkyy erityisesti metsien hyvänä laatuna ja kasvun suurenemisena.

The field work of the 6th National Forest Inventory was carried out between 1971 and 1976. The results for Forestry Board Districts have been published earlier. This report comprises the results for the whole country and 7 sub-regions.

The area of forest land is 19,7 mill. ha and forestry land 26,8 mill. ha. The areas of both forest land and forestry land are increasing because some agricultural land is being afforested and swamp land is being improved for forest growth.

The volume of the growing stock is 1 520 mill. m^3 and the gross increment is 57,4 mill. m^3 per annum. The fellings have been much smaller than the increment. The growing stock volume in 1970s has therefore increased markedly. Increment is increasing because of the forest improvement carried out and new tree stands established during the 1950s and 1960s. Young pine stands in particular are increasing their growth.

The quality of the forests has improved and the amount of saw timber volume increased. There is very much mature timber in the forests and its amount is increasing. However, the small amount of fellings compared with the harvesting possibilities is leading to deteriorating quality of the growing stock and increased mortality losses.

The increase of the private forests has stopped and their share has started to decrease. Companies and corporations have increased their ownership. Their silvicultural inputs have been most intensive and this is reflected in the improved quality of their forests and increased increment.

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Valtakunnan metsien 6. inventointi suoritettiin vuosina 1971—1976. Väli edelliseen inventointiin oli 6 vuotta eli lyhyempi kuin koskaan aikaisemmin. Kierron nopeutta voitiin perustella 1960-luvun suurilla hakkuilla ja lisätyillä puuntuotannon panoksilla, jotka saivat aikaan suuria muutoksia metsävaroissa.

Inventoinnin suunnitteluun ja suorittamiseen sekä tulosten laskentaan ja julkaisemiseen ovat ottaneet osaa seuraavat henkilöt:

Erikoistutkija, tri Paavo T i i h o n e n: kenttäryhmien kouluttaminen, kenttätyön johtaminen ja valvominen sekä erillistutkimukset.

MMT, apulaisprofessori Simo P o s o: Lapissa käytetyn kaksivaiheisen näytteen suunnittelu ja osallistuminen tältä osalta työn johtamiseen.

Vanhempi tutkija Sakari S a l m i n e n: tietokonekäsittelyn suunnittelu ja toteuttaminen, kenttäryhmien kouluttaminen ja työn valvonta tietojenkäsittelyn toteuttamista silmällä pitäen sekä käsikirjoituksien valmistamiseen osallistuminen.

Tutkija Alli S a l o v a a r a (vuoteen 1974): tulosten laskenta ja käsikirjoitusten valmistaminen.

Metsäteknikko Matti K u j a l a: tietojen käsittelyn suunnittelu ja tulostukset.

Ryhmänjohtajana ovat toimineet: Osmo H a n n u n i e m i, Aulis H e i n o, Veikko H i l t u n e n, Tapani J u h e, Ilkka K o h m o, Jouni K u l j u, Esko K ä r k i, Jouko L a a s a s e n a h o, Eero M a t t i l a, Pertti M i k k o l a, Vesa M o i s i o, Timo N y r h i n e n, Kauko P a r v i a i n e n, Mauri R a i v i o, Hannu R e p o, Pekka T a m m i n e n, Tarmo U u s i t a l o, Arno U u s v a a r a, Heikki V i r k k i, Pertti V i r t a n e n ja Lauri V u o r i s a l o.

Tutkimussihteeri Anja L e s k i n e n on suorittanut käsikirjoitusten viimeistelyn, puhtaaksikirjoittamisen ja painatusvaiheiden hoitamisen.

Toimistoapulainen Ulla S u h o n e n on piirtänyt kuvat.

Ryhmänjohtajien kouluttamiseen ovat osallistuneet useat metsäntutkimuslaitoksen tutkijat. Kenttätyötä ja ennenmuuta metsänomistuksen selvittämistä ovat tehokkaasti avustaneet metsähallitus, keskus- ja piirimetsälautakunnat, Ahvenanmaan maakuntahallinnon metsäosasto, metsänhoitoyhdistykset ja metsäteollisuusyritysten metsäosastot.

Kiitän kaikkia, jotka ovat osallistuneet valtakunnan metsien 6. inventointiin tai avustaneet eri tavoin sen toteuttamista. Metsävarojen inventoiminen on suuri ryhmätyö, jonka onnistuminen edellyttää, että jokainen siihen osallistunut tekee työnsä hyvin.

Helsinki, toukokuussa 1978

Kullervo Kuusela

SISÄLTÖ

ALKUSANAT 3

JOHDANTO 5

LUOKKIEN JA ERÄIDEN TUNNUSTEN KUVAUKSET 6

Maaluokat 6
Metsätalouden maan alaryhmät 6
Omistajat 7
Kasvupaikkatyypit 7
Metsämaan veroluokat 7
Turvemaiden kuivumisaste 8
Kuutiomäärä ja kasvu 8
Puutavaralajit 8

MAAN JA PUUSTON LUOKAT 9

Maa 9
Maaluokat 9
Metsämaan ja metsätalouden maan omistus 13
Metsätalouden maan ja sen luokkien tunnuksia omistajittain 16
Puusto 20
Puulajien vallitsevuus 20
Ikärakenne 23
Kehitysluokkarakenne 28
Kuutiomäärä 29
Läpimittaluokkarakenne 39
Tukkipuusto 41

KASVU, SUUNNITE JA METSÄTASE 43

Kasvu 43
Suunnite 46
Metsätase ja sen luotettavuus 50
Puuston kuutiomäärän seuranta inventointikierron aikana 54
Metsätaseen alueellisuus 58

METSIKÖIDEN LAATU JA HAKKUIDEN TOISTUVUUS 58

Metsiköiden laatu 58
Viljellyt metsiköt ja maatalousmaan metsittyminen 59
Hakkuiden toistuvuus 60

PÄÄTELMIÄ 61

KIRJALLISUUS — *REFERENCES* 76

SUMMARY 78

LIITETAULUKOT — *APPENDIX TABLES* 83

JOHDANTO

Suomen metsävarojen 6. inventointi suoritettiin vuosina 1971—1976. Inventoinnin kierron lyhentäminen kuudeksi vuodeksi oli mahdollista sen vuoksi, että tutkimusmäärärahan reaalinen arvo suureni ja että 1970-luvun ensimmäisinä vuosina saatiin lisämenoarvioissa kutakuinkin täysimääräisenä kaikki ne palkka- ja muiden kustannusten lisäykset, jotka aiheutuivat rahanarvon heikkenemisestä ja palkkojen reaalisesta noususta. Kiertoa lyhensi myös kahden pohjoisimman piirimetsälautakunnan alueen pääosan arvioiminen kaksivaiheisella näytteellä käyttäen ilmakuvatulkintaa ja maastomittauksia (P o s o ja K u j a l a 1977). Inarin, Utsjoen ja Enontekiön kuntien aluetta ei arvioitu 6. inventoinnin yhteydessä, vaan sen osalta käytetään tietojen yhdistelmissä v. 1970 suoritetun inventoinnin tuloksia (P o s o ja K u j a l a 1971).

Edellä todettua Perä-Pohjolan aluetta lukuunottamatta muualla maassa käytettiin lohkoarviointia ja maastossa suoritettuja mittauksia ja havaintoja. Lohkojen koko oli 8×8 km. Perä-Pohjolan alueella suoritettu kaksivaiheiseen näytteeseen perustuva arviointi tuli noin 30 % halvemmaksi kuin jos se olisi tehty samalla tavalla kuin muualla maassa. Kaksivaiheisella näytteellä saatujen tietojen laatu on todennäköisesti huonompi kuin lohkonäytteen tiedot niiden tunnusten osalta, joita on vaikein arvioida kuvatulkinnalla.

Piirimetsälautakuntien alueiden osalta tulokset sisältyvät julkaisuihin K u u s e l a ja S a l o v a a r a 1974 a ja b; K u u s e l a ja S a l m i n e n 1976 ja 1978.

Kasvun alueellisesta ja omistajittaisesta jakaantumisesta on erillinen julkaisunsa (K u u s e l a 1977 a). Tuloksia on julkaistu sitä mukaa kuin ne ovat valmistuneet metsätilastollisessa vuosikirjassa (mm. Folia For. 296) ja puunkäyttötutkimusten tulosten yhteydessä (esim. H u t t u n e n 1976). Tulokset esitetään koko maalle, Etelä- ja Pohjois-Suomelle, jolloin Pohjois-Suomi käsittää 4 pohjoisimman piirimetsälautakunnan alueen, ja useiden tietojen osalta piirimetsälautakuntien alueista muodostetuille 7 osa-alueelle (kuva 1).

Koska 5. inventoinnin tulosjulkaisuun (K u u s e l a 1972) on koottu metsävarojen kehitystä kuvaavat tärkeimmät aikasarjat alkaen 1. inventoinnin tuloksista, on käsillä olevassa julkaisussa rajoituttu miltei kokonaan 6. inventoinnin tuloksiin. Ne esitetään siten, että ne voidaan liittää osaksi kaikkien inventointien tulosten käsittämää aikasarjaa. Metsävarojen tärkeimpien tunnusten pitkäaikainen kehittyminen esitetään kuvilla. Eräitä vertailuja 5. inventoinnin tulosten kanssa esitetään myös taulukoissa ja asetelmissa.

5. inventoinnin luotettavuuslaskelmien tulosten perusteella (S a l m i n e n 1973) voidaan päätellä, että koko maan metsämaan pinta-alan keskivirhe on ±0,5 %, puuston kuutiomäärän ±0,7 % ja kasvun ±1,0 %.

LUOKKIEN JA ERÄIDEN TUNNUSTEN KUVAUKSET

Metsävaratietojen sisältö on kuvattu yksityiskohtaisesti »Valtakunnan metsien inventoinnin kenttäohjeessa» (1971). Seuraavassa kuvataan tärkeimpien luokitusten sisältö.

Maaluokat

M e t s ä m a a on sellaista puun kasvattamiseen käytettyä tai käytettävissä olevaa maata, jolla puuston keskimääräinen kasvu on suotuisimpien olosuhteiden vallitessa ja 100 vuoden kiertoaikaa käytettäessä vähintään 1 m^3/ha kuorellista puuta (noin 0,85 m^3/ha kuoretonta puuta) vuotta kohti.

K i t u m a a on edellä esitetyn mukaisesti sellaista maata (kiviperäistä tai kalliomaata, turvemaata, hietikkoa, laki- tai tunturimaata), jolla puuston kasvu on 0,9—0,1 m^3/ha.

J o u t o m a a on edellä esitetyn mukaisesti sellaista maata, jolla puuston kasvu on alle 0,1 m^3/ha.

Kitu- ja joutomaahan kuuluvista turvemaista voidaan osa muuttaa ojittamalla ja lannoittamalla metsämaaksi.

M e t s ä t a l o u d e n t i e t, v a r a s t o t jne. ovat sellaista metsätalouden piiriin kuuluvaa maata, joka pysyvästi tai tilapäisesti ei ole käytettävissä puun kasvattamiseen.

M e t s ä t a l o u d e n m a a on edellä kuvatun neljän maaluokan summa. Joutomaan ja metsätalouden teiden, varastojen jne. metsätalouden maahan kuulumisen edellytyksenä on, että ne sisältyvät metsä- ja kitumaan muodostamaan kokonaisuuteen.

M a a t a l o u d e n m a a käsittää pellot, laitumet ja niihin alueellisesti kuuluvat joutomaat, tilustiet ja maatalouden rakennuksiin liittyvät alueet.

R a k e n n u s t e n a l a käsittää asuntojen, talous- ja asutuskeskusten, tehtaiden jne. välittömine ympäristöineen vaatiman maan.

L i i k e n n e v ä y l ä t jne. käsittävät tiet, rautatiet, lentokentät, voimajohtolinjat ja vastaavat penkereineen ja ojineen.

Metsätalouden maan alaryhmät

K a n g a s on mineraalimaata.

S u o tai t u r v e m a a. Pintakasvillisuudesta on yli 75 % suokasvillisuutta. Turvemaa, jolla ei ole tätä määrää suokasvillisuutta, on ojittamalla suosta kuivatettu.

K o r p i on yleensä kuusi- tai lehtipuuvaltainen turvemaa.

R ä m e on yleensä mäntyvaltainen turvemaa.

N e v a on luontaisesti puuton turvemaa.

Korpi ja räme voivat olla hakkuun jälkeen puuttomia.

Omistajat

Yksityinen. Käsite sisältää myös yksityisten toiminimien ja perikuntien omistamat tilat sekä hallintasopimustilat.

Osakeyhtiö, ei kuitenkaan asunto-osakeyhtiö.

Valtio käsittää metsähallituksen, metsäntutkimuslaitoksen, puolustusministeriön ja muut metsää omistavat valtion virastot tai laitokset.

Omistajaryhmä muut käsittää kuntien, seurakuntien ja yhteisöjen kuten säätiöiden, osuuskuntien, kommandiitti- ja asunto-osakeyhtiöiden omistamat metsät.

Kasvupaikkatyypit

1. Lehto käsittää kankaiden lehtotyypit ja lehtomaiset sekä lettosuot ja turvemaat.

2. Lehtomaiset kankaat ja vastaavat turvemaat. Kankaiden metsätyypit Etelä-Suomessa ovat käenkaali-mustikka- (OMT) ja talvikkityyppi (PyT); Pohjanmaalla-Kainuussa kurjenpolvi-käenkaali-mustikkatyyppi (GOMT); Perä-Pohjolassa kurjenpolvi-mustikkatyyppi (GMT). Suot ja turvemaat käsittävät ruohoisia suotyyppejä.

3. Tuoreet kankaat ja vastaavat turvemaat. Kankaiden metsätyyppi Etelä-Suomessa on mustikkatyyppi (MT); Pohjanmaalla-Kainuussa puolukka-mustikkatyyppi (VMT), joka kauan kuusta kasvaneena esiintyy veroluokkaa alentavasti kunttaisena, ja metsälauha-mustikkatyyppi (DeMT); Perä-Pohjolassa seinäsammal-mustikkatyyppi (HMT), joka esiintyy usein veroluokkaa alentavasti vahvasti kunttaisena. Suot ja turvemaat ovat suursaraisia ja mustikkaisia suotyyppejä.

4. Kuivahkot kankaat ja vastaavat turvemaat. Kankaiden metsätyyppi Etelä-Suomessa on puolukkatyyppi (VT); Pohjanmaalla-Kainuussa variksenmarja-puolukkatyyppi (EVT); Perä-Pohjolassa variksenmarja-mustikkatyyppi (EMT). Suot ja turvemaat ovat piensaraisia ja puolukkaisia suotyyppejä.

5. Kuivat kankaat ja vastaavat turvemaat. Kankaiden metsätyyppi Etelä-Suomessa on kanervatyyppi (CT); Pohjanmaalla-Kainuussa variksenmarja-kanervatyyppi (ECT) ja Perä-Pohjolassa mustikka-kanerva-jäkälätyyppi (MCClT). Suot ja turvemaat ovat tupasvillaisia ja isovarpuisia suotyyppejä.

6. Karukko kankaat ja vastaavat turvemaat. Kankaiden metsätyyppi on jäkälätyyppi (ClT). Suot ja turvemaat ovat rahkaisia suotyyppejä.

Metsämaan veroluokat

IA: lehdot ja lehtomaiset kankaat sekä turvekankaat.

IB: tuoreet ja talvikkityypin kankaat sekä turvekankaat.

II: kuivahkot ja raakahumusta muodostavat, hidaskasvuista puustoa kasvavat puolukka-mustikkatyypin kankaat sekä turvekankaat.

III: kuivat, karukko- ja paksun raakahumuksen peittämät, hidaskasvuista puustoa kasvavat seinäsammal-mustikkatyypin kankaat ja metsämaan korvet.

IV: metsämaan rämeet.

Puuston kasvua alentavien tekijöiden perusteella maa voidaan määrittää kasvupaikkatyyppiään alempaan veroluokkaan.

Turvemaiden kuivumisaste

Luonnontilainen suo.

Ojikko on ojitettu suo, jossa ojien vaikutus ei ole vielä havaittavissa pintakasvillisuudessa eikä sanottavasti puustossakaan. Se voi olla metsä-, kitu- tai joutomaata.

Muuttuma on ojitettu suo, jossa ojitus on lisännyt puiden kasvua, mutta jossa alkuperäinen suotyyppi antaa pintakasvillisuudelle vielä leimansa. Se on metsämaata.

Turvekangas on ojitettu suo, jolla puusto on sulkeutunut ja jonka pintakasvillisuus muistuttaa jotain kankaiden metsätyyppiä. Se on metsämaata.

Kuutiomäärä ja kasvu

6. inventoinnissa otettiin käyttöön uudet pystypuiden kuutioimisfunktiot (Laasasenaho 1976). Niiden käyttäminen edellyttää, että rinnankorkeusläpimitta mitataan 1,3 m:n etäisyydeltä puun syntymäpisteestä, so. useimmiten maanpinnasta. Menetelmällä saadaan kannon yläpuolinen rungon kuorellisen puun kuutiomäärä, joka on noin 3 % suurempi kuin aikaisemmin käytetyillä Ilvessalon taulukoilla saatava kuutiomäärä. Tämä korjaus on tehty kaikkiin niihin aikaisempien inventointien kuutiomääriin ja kasvun arvioihin, joita esitetään vertailutaulukoissa ja asetelmissa.

Puutavaralajit

Puutavaralajit ovat tukki ja kuitupuu sekä puuston kuutiomäärän yhteydessä näihin kuulumaton rungon osa ja suunnitteen yhteydessä metsätähde, luonnonpoistuma ja luonnonsuojelualueiden vuoksi tehty suojeluvähennys.

Tukkiosuutta määritettäessä on tavoitteena ollut se rungon osa, joka keskimäärin voidaan myydä tukkina ja tukin hinnalla. Varsinainen pikkutukki (Tiihonen 1977 a) on määritetty kuitupuuksi. Ohjeina on käytetty Maataloustuottajien Keskusliiton Metsävaltuuskunnan ja Tukkikeskuksen 27. 6. 1969 hyväksymiä havutukkien vähimmäisvaatimuksia ja Maataloustuottajien Keskusliiton ja Koivukeskuksen 15. 7. 1970 sopimia koivuvaneritukin laatuvaatimuksia.

Havutukkien minimi- ja maksimimitat ovat

	Mänty	Kuusi
minimiläpimitta, cm	14	15
minimipituus, m	3,9	
tyvitukin maksimipituus, m	6,3	
latvatukin maksimipituus, m	6,0	

Kuitupuuosuuden minimiläpimitta kuoren alta on 6 cm ja niin, että rungosta saadaan vähintään 2 m pitkä ja tämän läpimitan täyttävä pölkky, ja että osuus päättyy silloin, kun runko saavuttaa minimiläpimitan.

MAAN JA PUUSTON LUOKAT

Maa

Maaluokat

Suomen maapinta-alan jakaantuminen maaluokkiin 6. inventoinnin tulosten mukaan esitetään taulukossa 1 ja metsätalouden maan ja kasvullisen metsämaan (kolmen ensimmäisen inventoinnin tulokset) sekä metsämaan (kolmen viimeisimmän inventoinnin tulokset) suhteellisten osuuksien kehittyminen kuvassa 2. Kankaiden maaluokkien ja turvemaiden maaluokkien ja alaryhmien pinta-alojen arviot esitetään taulukoissa 2 ja 3 (vert. myös liitetaulukko 1).

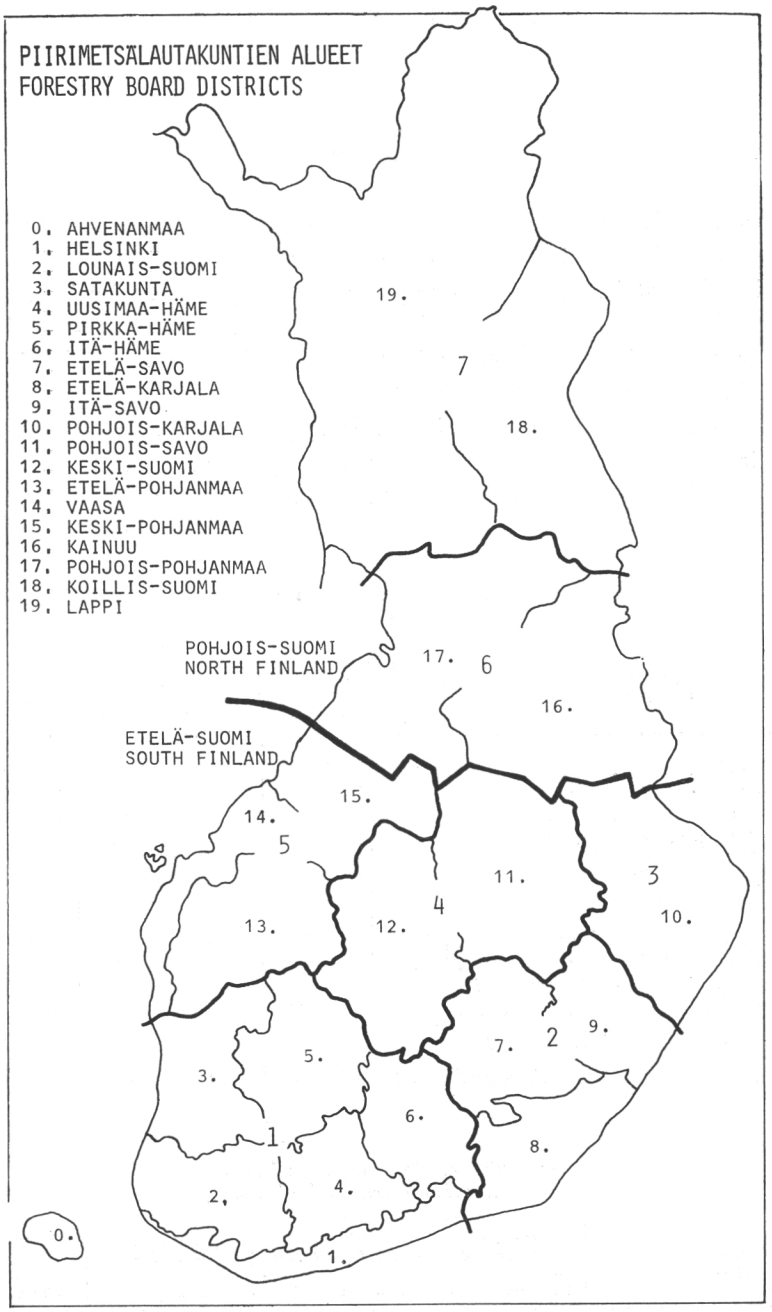
Metsätalouden maan osuus on 5. inventoinnin jälkeen lisääntynyt hitaasti, kuitenkin pääasiassa Etelä-Suomessa. Myös rakennusten ja liikenneväylien yhteisen pinta-alan arvio on lisääntynyt 118 000 ha, mutta maatalouden maan arvio on pienentynyt

Taulukko 1. Maaluokat.
Table 1. Land classes.

Maaluokka *Land class*	Etelä-Suomi *South Finland*		Pohjois-Suomi *North Finland*		Yhteensä *Total*	
	%	1 000 ha	%	1 000 ha	%	1 000 ha
Metsämaa — *Forest land*	70,1	11 312	58,3	8 426	64,6	19 738
Kitumaa — *Poorly productive land*	5,7	910	18,5	2 673	11,7	3 583
Joutomaa — *Waste land*	3,6	572	19,3	2 799	11,1	3 371
Tiet, varastot, jne. — *Roads, depots, etc.*	0,4	56	0,2	30	0,3	86
Yhteensä metsätalouden maa — *Total forestry land*	79,8	12 850	96,3	13 928	87,7	26 778
Maatalouden maa — *Agricultural land*	17,0	2 722	2,6	379	10,1	3 101
Rakennusten ala — *Built-up areas*	1,9	305	0,4	52	1,2	357
Liikenneväylät, jne. — *Communication routes, etc.*	1,3	211	0,7	100	1,0	311
Yhteensä muu maa — *Total other land*	20,2	3 238	3,7	531	12,3	3 769
Yhteensä koko maa — *Total land*	100,0	16 088	100,0	14 459	100,0	30 547

Taulukko 2. Kankaiden maaluokat.
Table 2. Mineral soils by land classes.

Alue *Area*	Metsämaa *Forest land*		Kitumaa *Poorly prod. land*		Joutomaa *Waste land*		Yhteensä *Total*	
	1 000 ha	%	1 000 ha	%	1 000 ha	%	1 000 ha	%
Etelä-Suomi — *South Finland*	8 823	96,3	233	2,5	108	1,2	9 164	100,0
Pohjois-Suomi — *North Finland*	6 509	79,5	764	9,3	918	11,2	8 191	100,0
Koko maa — *Whole country*	15 332	88,3	997	5,8	1 026	5,9	17 355	100,0

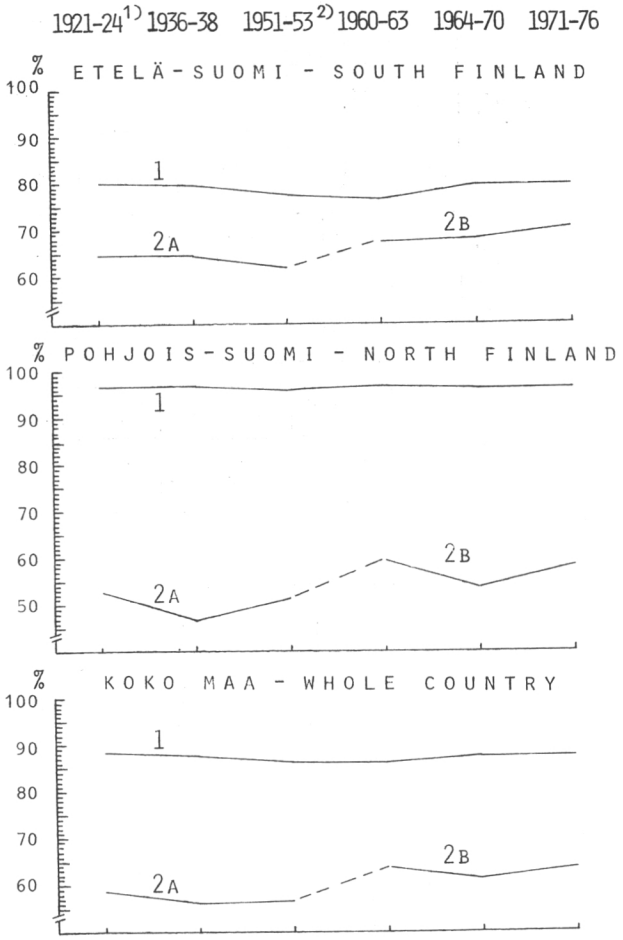


Kuva 1. Piirimetsälautakuntien alueet, metsänomistusta koskevien tulosten laskenta-alueet 1—7 sekä Etelä- ja Pohjois-Suomi.

Fig. 1. Forestry Board Districts, calculation areas 1—7 for the results of forest ownership and South and North Finland.

Taulukko 3. Turvemaan maaluokat ja alaryhmät.
Table 3. Peatlands by classes and sub-groups.

Alue *Area*	Maaluokka *Land class*	Korpi *Spruce and birch swamp*		Räme *Pine swamp*		Neva *Open swamp*		Yhteensä *Total*		
		1 000 ha	%	1 000 ha	%	1 000 ha	%	1 000 ha	%	
Etelä-Suomi — *South Finland*	Metsämaa — *Forest land*	1 099	44,2	1 390	55,8	—	—	2 489	100,0	68,5
	Kitumaa — *Poorly productive land*	39	5,7	638	94,3	—	—	677	100,0	18,7
	Joutomaa — *Waste land*	16	3,4	173	37,3	275	59,3	464	100,0	12,8
	Yhteensä — *Total*	1 154	31,7	2 201	60,7	275	7,6	3 630	100,0	100,0
Pohjois-Suomi — *North Finland*	Metsämaa — *Forest land*	663	34,6	1 254	65,4	—	—	1 917	100,0	33,6
	Kitumaa — *Poorly productive land*	233	12,2	1 676	87,8	—	—	1 909	100,0	33,4
	Joutomaa — *Waste land*	90	4,8	361	19,2	1 430	76,0	1 881	100,0	33,0
	Yhteensä — *Total*	986	17,3	3 291	57,7	1 430	25,0	5 707	100,0	100,0
Koko maa — *Whole country*	Metsämaa — *Forest land*	1 762	40,0	2 644	60,0	—	—	4 406	100,0	47,2
	Kitumaa — *Poorly productive land*	272	10,5	2 314	89,5	—	—	2 586	100,0	27,7
	Joutomaa — *Waste land*	106	4,5	534	22,8	1 705	72,7	2 345	100,0	25,1
	Yhteensä — *Total*	2 140	22,9	5 492	58,9	1 705	18,2	9 337	100,0	100,0



Kuva 2. Metsätalouden maan (1), aikaisemman kasvullisen metsämaan (2 a) ja nykyisen metsämaan (2 b) osuus maa-alasta inventointien tulosten mukaan.

Fig. 2. Proportions of forestry land (1), earlier productive forest land (2 a) and current forest land (2 b) in the results of inventories.

1) Lääninjaon mukainen Etelä- ja Pohjois-Suomi.
South and North Finland based on the boundaries of administrative districts.

2) Pinta-alasuhteisiin ovat vaikuttaneet sodanjälkeiset alueluovutukset. — *Land class proportions have been changed because of the ceded areas after the war.*

230 000 ha, mistä pienentymisestä on pääosa siirtynyt metsittymisen kautta metsämaaksi. Metsitettyjä ja luontaisesti metsittyneitä peltoja on 200 000 ha.

Metsätalouden maan arvioiden osalta on tarpeen ottaa huomioon, että Suomen maapinta-alan arvio ei ilmeisestikään ole kaikilta osiltaan täsmällisesti ajan tasalla. Pohjois-Suomen vesistön säännöstelyaltaiden ja maan merestä kohoamisen vaikutus erityisesti Pohjanlahden rannalla ei kaikilta osiltaan sisältyne pinta-alatietoihin.

Metsämaan pinta-alan arvio on lisääntynyt 1 041 000 ha. Pääosa lisäyksestä aiheutuu metsäojituksella ja lannoituksella aikaansaadusta kitu- ja joutomaan parantamisesta. Myös maatalouden maan metsittymisellä on sama vaikutus. Lisäystä on myös aiheuttanut Pohjois-Suomessa lähinnä kahden pohjoisimman piirimetsälautakunnan alueella tapahtunut arvosteluperusteiden »liukuminen» 5. inventoinnin tuloksiin verrattuna siten, että metsä- ja kitumaan rajalla olevaa suhteellisen suurta maa-alaa on siirtynyt metsämaaksi.

Metsätalouden maan ja metsämaan määrä sekä osuus lisääntyvät myös tulevaisuudessa. Tätä kehitystä voi muuttaa vain maatalouden maan pienenemisen muuttuminen suurenevaksi, mikä ei ole todennäköistä ainakaan 10 vuoden tähtäimellä.

Metsämaan lisääntyminen hidastunee siitä, mitä pidettiin mahdollisena 1960-luvulla. Tämä johtuu siitä, että soiden ojitus vähenee ja ojitettava pinta-ala jäänee pienemmäksi kuin noin 7 milj. ha, jota on pidetty tavoitteena.

Jos soita ojitettaisiin metsän kasvulle 7 milj. ha ja peltoja metsittyisi 0,8 milj. ha, mikä jälkimmäinen määrä on hyvin mahdollinen elintarvikeomavaraisuuden turvaavan peltoviljelyn puitteissa, voitaisiin metsämaan pinta-ala suurentaa noin 23 milj. ha:ksi (K u u s e l a 1974, s. 57). Nykytapahtumisen perusteella arvioituna on metsämaan pinta-ala enintään 21 milj. ha vuosisadan lopulla.

Turvemaiden pinta-alan arvio 9 337 000 ha (taulukko 3) on 391 000 ha pienempi kuin 5. inventoinnin tulos. Vaikka ero voi johtua satunnaisvirheestä, niin on todennäköistä, että osa ojituksella kuivattuja ohutturpeisia maita on luokitettu kankaiksi. Turvemaiden metsämaan arvio on suurentunut 458 000 ha, mikä on pääosaksi aikaansaatu turvemaiden ojituksella ja lannoituksella.

Metsämaan ja metsätalouden maan omistus

Metsämaan ja metsätalouden maan omistusta osoittavat tulokset esitetään taulukossa 4, metsätalouden maan luokkien omistusta osoittavat tulokset liitelaulukoissa 1 ja 2 sekä metsänomistuksen kehittyminen kuvassa 20, s. 67.

Tärkein tulos omistusolojen osalta on, että pitkäaikainen ja erityisesti II maailmansodan jälkeen voimakkaana tapahtunut yksityisen metsänomistuksen lisääntyminen on muuttunut vähäiseksi pienenemiseksi 1970-luvulla. Kun 6. inventoinnin tuloksia verrataan 5. inventoinnin tuloksiin, on metsätalouden maan omistuksen muutos 1 000 ha:ssa keskimääräisenä ajanjaksona 1967—1973:

Yksityinen	Osakeyhtiö	Valtio	Muut	Yhteensä
—257	+176	+46	+146	+111

Metsätalouden maan kokonaislisäys johtuu, kuten edellä on jo todettu, metsittyneen maatalousmaan ja rakennetun metsämaan erotuksesta.

Syynä yksityisomistuksessa olevan metsätalouden maan pienenemiseen on ollut tilojen myyminen osakeyhtiöille, yhteisöistä lähinnä eläkesäätiöille, kunnille ja valtiolle. Joskin valtion maista otettujen metsäpalstojen siirtäminen yksityisomistukseen on vielä jatkunut, on tämä ollut vaikutukseltaan pienempää kuin tilojen ostot valtiolle. 6. inventoinnin loppuvaiheessa alkanut poronhoitotilojen muodostaminen valtion maista ja siirtäminen yksityisomistukseen saattaa pienentää valtion maanomistusta 1970-luvulla.

Osakeyhtiöiden metsätalouden maan lisäys on suhteellisesti suurin Lapin ja Koillis-Suomen alueella, jossa toisaalta yhtiöiden maan omistuksen osuus on hyvin pieni (vert. kuva 3).

Taulukko 4. Metsämaan ja metsätalouden maan omistus.
Table 4. Ownership of forest land and forestry land.

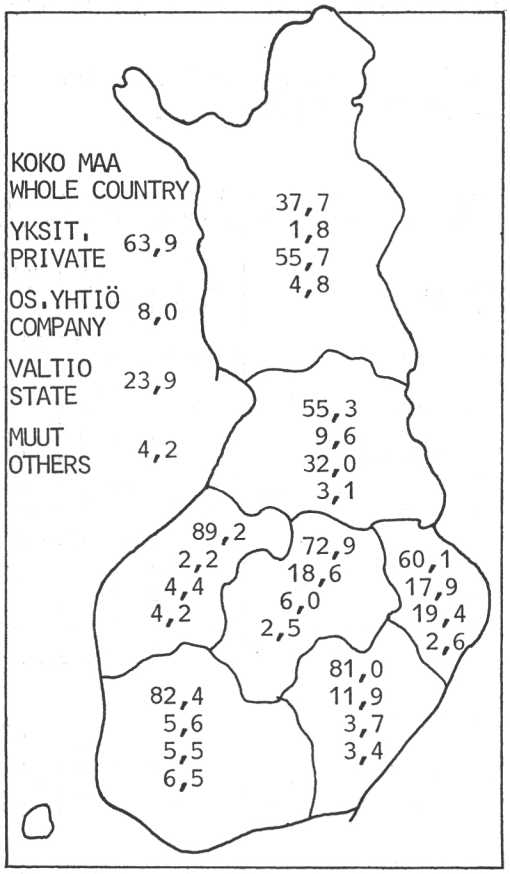
Maaluokka *Land class*	Yksityinen *Private*	Osakeyhtiö *Company*	Valtio *State*	Muut *Others*	Yhteensä *Total*	
	%					1 000 ha
			Etelä-Suomi — *South Finland*			
Metsämaa — *Forest land*	78,6	10,4	6,8	4,2	100,0	11 312
Metsätalouden maa — *Forestry land*	77,7	10,4	7,4	4,5	100,0	12 850
			Pohjois-Suomi — *North Finland*			
Metsämaa — *Forest land*	44,2	4,7	47,0	4,1	100,0	8 426
Metsätalouden maa — *Forestry land*	37,5	3,7	55,2	3,6	100,0	13 928
			Koko maa — *Whole country*			
Metsämaa — *Forest land*	63,9	8,0	23,9	4,2	100,0	19 738
Metsätalouden maa — *Forestry land*	56,8	6,9	32,3	4,0	100,0	26 778

Metsämaan omistuksen muutokset 1 000 ha:ssa ovat 5. ja 6. inventoinnin välisenä aikana:

Yksityinen	Osakeyhtiö	Valtio	Muut	Yhteensä
+410	+186	+315	+130	+1 041

Toistaen osan edellä esitettyä, metsämaan lisäyksen ovat aiheuttaneet soiden ojittaminen metsänkasvulle, maatalouden maan metsittyminen ja luokitusperusteiden liukuva muuttuminen Perä-Pohjolassa.

Metsämaan omistuksen alueellinen jakaantuminen on esitetty kuvassa 3. Yksityisomistus on suurin Etelä-Suomessa ja sen länsiosissa, valtion omistus taas Pohjois-Suomessa ja Pohjois-Karjalassa sekä osakeyhtiöiden omistus maan itä- ja keskiosissa sekä Kainuussa.



Kuva 3. Metsämaan omistus maan eri osissa.
Fig. 3. Forest land ownership in different parts of the country.

Omistussuhteiden muutoksista on 6. inventoinnin keskimääräisen suoritusajankohdan jälkeen osakeyhtiöiden ja eläkesäätiöiden metsänomistuksen suureneminen ilmeisestikin jatkunut joskin hitaammin kuin inventointien välissä. Suuruusluokkaarvioina osakeyhtiöiden osuus metsämaasta v. 1977 on 8,5 % ja yhdessä niiden eläkesäätiöiden kanssa 9,0—9,5 %.

Tässä yhteydessä on syytä todeta, että merkittävin metsänomistuksen rakennemuutos on muiden kuin maatilataloutta pääelinkeinonaan harjoittavien yksityishenkilöiden metsänomistuksen lisääntyminen. Tämä omistusmuoto käsittää 37 % yksityismetsistä (J ä r v e l ä i n e n 1978).

Metsätalouden maan ja sen luokkien tunnuksia omistajittain

Metsätalouden maan luokkien tunnuksia eri omistajien metsissä kuvaavia tietoja esitetään taulukoissa 5—7 ja liitetaulukoissa 3—10.

Taulukko 5. Metsämaan kankaat kasvupaikkatyyppiryhmittäin ja omistajittain.
Table 5. Forest land on mineral soils by fertility classes and ownership categories.

Kasvupaikkatyypit *Fertility classes*	Yksityinen *Private*	Osakeyhtiö *Company*	Valtio *State*	Muut *Others*	Yhteensä *Total*
	% alasta — % *of area*				
	Etelä-Suomi — *South Finland*				
Lehdot ja lehtomaiset — *Rich sites*	31,3	13,1	7,5	25,0	27,7
Tuoreet — *Damp sites*	43,7	44,0	41,1	39,1	43,4
Kuivahkot ja huonommat — *Dry sites*	25,0	42,9	51,4	35,9	28,9
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*				
Lehdot ja lehtomaiset — *Rich sites*	5,0	3,6	2,7	4,8	3,7
Tuoreet — *Damp sites*	45,0	43,6	37,6	46,3	41,1
Kuivahkot ja huonommat — *Dry sites*	50,0	52,8	59,7	48,9	55,2
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Koko maa — *Whole country*				
Lehdot ja lehtomaiset — *Rich sites*	24,3	10,8	3,3	16,6	17,5
Tuoreet — *Damp sites*	44,0	43,9	38,1	42,1	42,4
Kuivahkot ja huonommat — *Dry sites*	31,7	45,3	58,6	41,3	40,1
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Taulukko 6. Turvemaiden ja ojitusten määrä omistajittain.
Table 6. Peatland and peatland drainage area by ownership categories.

Turvemaan luokka *Peatland class*	Yksityinen *Private*	Osakeyhtiö *Company*	Valtio *State*	Muut *Others*	Yhteensä *Total*
	Etelä-Suomi — *South Finland*				
Turvemaata — *Peatland* 1 000 ha	2 647	423	390	170	3 630
Ojitettu — *Drained* 1 000 ha	1 731	274	222	96	2 323
» — » %	65,3	64,8	56,8	57,4	63,9
	Pohjois-Suomi — *North Finland*				
Turvemaata — *Peatland* 1 000 ha	2 580	237	2 677	213	5 707
Ojitettu — *Drained* 1 000 ha	1 112	118	463	60	1 753
» — » %	43,1	49,8	17,3	28,2	30,7
	Koko maa — *Whole country*				
Turvemaata — *Peatland* 1 000 ha	5 227	660	3 067	383	9 337
Ojitettu — *Drained* 1 000 ha	2 843	392	685	156	4 076
» — » %	54,3	59,5	22,3	40,9	43,6
	Koko maa — *Whole country*				
Ojitettu 1964—70 — *Drained in 1964—70* 1 000 ha	2 226	298	475	105	3 104
Lisäys — *Increase* 1 000 ha	617	94	210	51	972

Taulukko 7. Ojituksen edistyminen.
Table 7. Progress of swamp drainage.

Alue *Area*	1936—38	1951—53	1964—70	1971—76
	% turvemaan alasta — % *of peatland area*			
Etelä-Suomi — *South Finland*	4	18	47	64
Pohjois-Suomi — *North Finland*	·	4	21	31
Koko maa — *Whole country*	2	9	32	44

Ravinteisuudeltaan ja puuntuottokyvyltään kangasmaat ovat parhaat yksityisillä ja huonoimmat valtiolla (vrt. myös kuva 4).

Kun taulukossa 5 esitettyjä tuloksia verrataan vastaaviin 5. inventoinnin tuloksiin (K u u s e l a 1972, s. 19), voidaan todeta parhaiden metsätyyppien osuuksien lisääntyneen 2—5 prosenttiyksikköä. Samanlaista muutosta on tapahtunut aikaisempienkin inventointien tuloksissa.

Tähän vaikuttavia syitä ovat varsinkin aikaisemmin olleet kaskeamisen ja runsaiden kulojen kauden jälkeinen sekä erityisesti 1930-luvun edullisessa ilmastovaiheessa vauhdittunut parhaiden metsätyyppien tunnuskasvien lisääntyminen ja metsänarvioimisessa yleinen »varovaisuusperiaate», jonka mukaan pyritään mieluummin välttämään yliarvioimista kuin tavoittelemaan oikeata keskiarvoa.

Viimeisimmissä inventoinneissa on täsmennetty metsätyyppien kuvausta (K u u s e l a 1977 a) ja lisätty kenttätyön suorittajien metsätyyppien ja kasvilajien tuntemusta. Tällä on myös voinut olla parhaiden metsätyyppien osuutta lisäävä vaikutus erityisesti Pohjois-Suomessa.

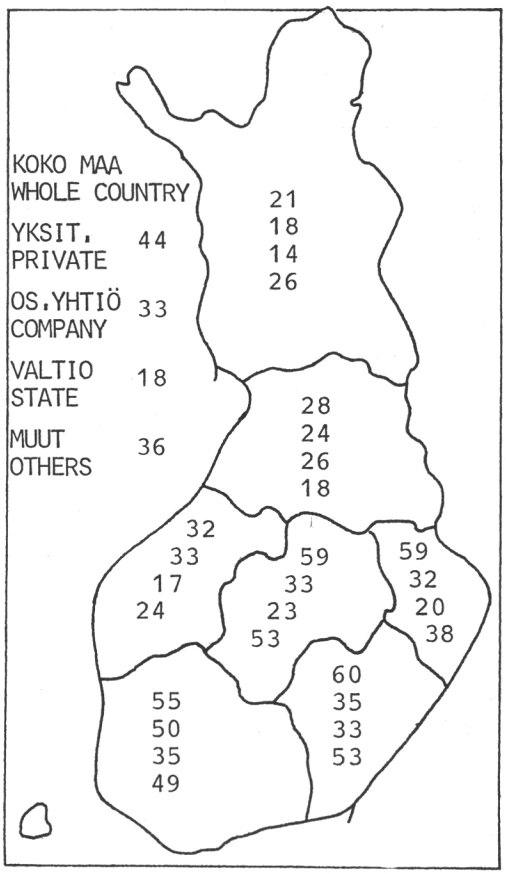
Kasvupaikkojen todellista paranemista aiheuttavia toimenpiteitä ovat ojitus, maan muokkaus ja lannoitus. Näistä selvimmin lannoitus lisää välittömästi parhaiden metsätyyppien kasvilajien määrää.

Metsämaan veroluokkien I A ja I B yhteinen osuus omistajittain ja osa-alueittain 1—7 esitetään kuvassa 4. Tulokset havainnollistavat edellä todettuja maiden puuntuottokyvyn eroja omistajittain.

Alueellisista eroista merkittävimpiä ovat parhaiden maiden osuuden pieneneminen pohjoiseen siirryttäessä. Erityisesti soistuneisuus on maiden puuntuottokykyä heikentävä tekijä Pohjanmaalla ja Pohjois-Suomessa. Maan lounaisosissa on parhaiden kasvupaikkojen runsas ottaminen peltoviljelyyn heikentänyt metsämaan keskimääräistä laatua Etelä-Suomen sisä- ja kaakkoisosiin verrattuna.

Metsämaan veroluokkiin jakaantumista osoittavissa tuloksissa (liitetaulukko 7) on syytä kiinnittää huomiota siihen, että I A ja I B veroluokkien osuudet Pohjois-Suomessa ovat selvästi pienemmät kuin Etelä-Suomessa. Erityisesti I A veroluokan maata on hyvin vähän, joskin käytännön maiden luokituksissa sitä saadaan vielä vähemmän.

Koska Pohjois-Suomessa on parhaita maita otettu peltoviljelylle suhteellisesti paljon vähemmän kuin Etelä-Suomessa, näyttäisi edellä todettu ero viittaavan siihen, että lehtoja ja lehtomaisia maita on Pohjois-Suomessa paljon vähemmän kuin Etelä-

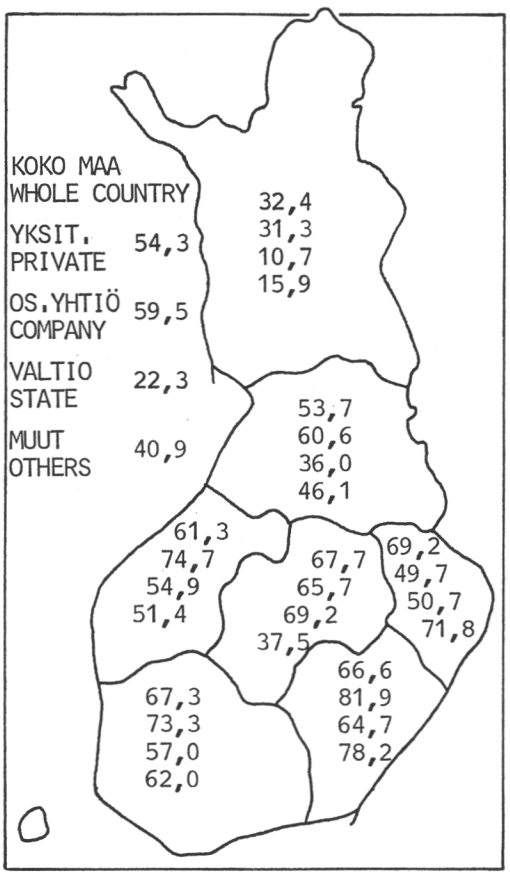


Kuva 4. I A ja I B veroluokkien osuudet metsämaasta.

Fig. 4. Percentage of the two highest taxation site classes of the forest land.

Suomessa. Toisaalta inventoinnin tulokseen on voinut vaikuttaa myös se, että Pohjois-Suomessa ei ole kuvattu metsätyyppejä yhtä yksityiskohtaisesti kuin Etelä-Suomessa, ja että tästä syystä maiden viljavuusjakaantumaa ei kyetä siellä arvioimaan riittävällä tarkkuudella. Metsänjärjestelyn tarpeita silmälläpitäen näyttäisi erittäin aiheelliselta suorittaa maiden luokituksen parantamiseen tähtääviä metsätyyppitutkimuksia Pohjois-Suomessa. Uudisojitus on jatkunut suhteellisen voimakkaana, joskin työtulokset alkoivat pienetä 1970-luvulla (kuva 21, s. 69). Ojitusten painopiste on siirtynyt Pohjois-Suomeen.

Metsäojitetun turvemaan pinta-alan arvio on lisääntynyt 5. inventoinnin jälkeen 972 000 ha ja on 6. inventoinnin tuloksen mukaan 4 076 000 ha. Lisäys on keskimäärin vuotta kohti 160 000 ha (kuva 5).



Kuva 5. Ojitetun pinta-alan osuusprosentti turvemaiden pinta-alasta omistajittain.

Fig. 5. Percentage of drained area from total peatland area by ownership categories.

Kun inventointien tulosten mukaista ojitetun alan lisäystä verrataan vuosittain tilastoituun uudisojitusalaan, on jälkimmäinen ollut inventointien välisenä aikana noin 250 000 ha vuodessa (Metsätilastollinen . . . 1976). Ts. ojitettu ala on inventointien tulosten mukaan lisääntynyt vuotta kohti 90 000 ha vähemmän kuin mikä on tilastoitu uudisojitusala. Tämä merkitsee sitä, että tilastoidusta uudisojituksesta on inventointien välisenä 6 vuotena ollut runsaat 500 000 ha eli 36 % toiseen kertaan tehtyjä tai täydennysojituksia. Inventointien tuloksen ja tilastoitujen pinta-alojen ero on likimain samaa suuruusluokkaa yksityisten, yhtiöiden ja valtion omistamissa metsissä.

Eroon on syytä kiinnittää erityistä huomiota kolmessa mielessä. Valtion varoista maksettu metsänparannustuki yksityismetsien omistajille samoin kuin ojitetulle alalle myönnettävät verohelpotukset ovat tarkoitetut lähinnä uudisojituksen aikaansaa-

miseksi. »Uudisojitusten» muuttuminen suurelta osalta toiskertaiseksi ja täydennysojitukseksi voi olla syy harkita tukea ja tuen perusteita uudesta näkökulmasta.

Koska alkuperäinen uudisojitus ei johda noin neljänneksellä pinta-alasta haluttuun kasvupaikan parantumiseen, on mahdollista, että tähänastiset käsitykset ojituksen taloudellisesta edullisuudesta ovat yliarvioita. Soistuminen ja suon pysyminen suona on ilmeisestikin tähänastisia arvioita vahvempi luonnonvoima.

Tilastoidut työsaavutukset liioittelevat ojituksen etenemistä. Eräs seuraus tästä on, että uudisojitus hidastuu ennakoitua nopeammin, koska työpanoksesta on pantava suureneva osa jo kertaalleen ojitettujen alueiden toistuvaan parantamiseen. Ojituskelpoiseksi on arvioitu runsaat 7 milj. ha suota. Vuonna 1977 on tästä ojitettu noin 4,4 milj. ha. Nykyiset kehityssuunnat johtavat siihen, että ojitetuksi tuleva pinta-ala kuluvalla vuosisadalla jää noin 5,5 milj. ha:iin.

Soista oli ojitettu 6. inventoinnin keskimääräisenä vuonna 1973 koko maassa 44, Etelä-Suomessa 64 ja Pohjois-Suomessa 31 %. Kun otetaan huomioon soiden metsäojituskelpoisuuden erot eri omistajien metsissä, ovat osakeyhtiöt toteuttaneet suhteellisesti eniten ojitusta.

Metsäojituksella aikaansaatu vuotuinen kasvun lisäys on varovaisestikin arvioiden 5 milj. m^3. Ellei soita olisi ojitettu ja lannoitettu, olisi metsien kasvu ollut tilapäisesti pienenevä seurauksena vanhojen metsiköiden kasaantumisesta ja nuorten taimikkometsien pienestä kasvusta pinta-alayksikköä kohti.

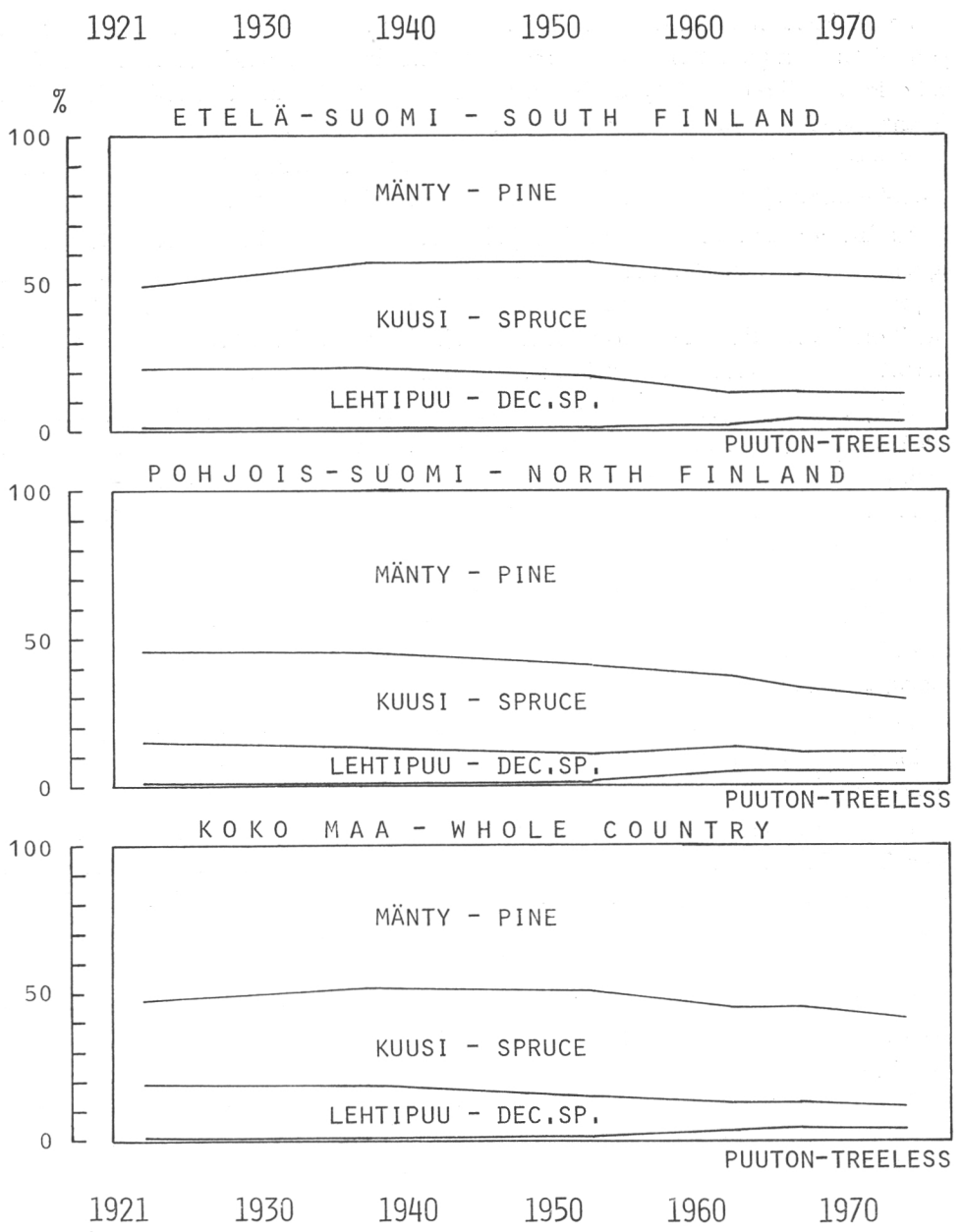
Puusto

Puulajien vallitsevuus

Puulajien vallitsevuutta metsämaalla kuvaavat tiedot esitetään taulukossa 8, eri omistajien metsissä ja osa-alueilla 1—7 liitetaulukoissa 11 ja 12, sekä vallitsevuuden kehittyminen 1920-luvun alusta kuvassa 6.

Taulukko 8. Puulajien vallitsevuus metsämaalla.
Table 8. Dominance of tree species on forest land.

Vallitseva puulaji *Dominating tree species*	Etelä-Suomi *South Finland*	Pohjois-Suomi *North Finland*	Koko maa *Whole country*
	% alasta — % *of area*		
Mänty — *Pine*	49,0	70,6	58,2
Kuusi — *Spruce*	38,6	18,5	30,1
Koivu — *Birch*	6,9	6,0	6,5
Haapa — *Aspen*	0,2	0,2	0,2
Leppä — *Alder*	1,7	0,2	1,0
Puuton — *Treeless*	3,6	4,5	4,0
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0



Kuva 6. Puulajien vallitsevuuden kehittyminen metsämaalla.
Fig. 6. Development of the dominance of tree species on forest land.

Seurauksena metsien uudistamisessa toteutetusta puulajisuhteiden parantamisesta ja uudistamisen painottumisesta kylmän ilmaston alueille ja keskimääräistä huonoimmille kasvupaikoille mäntyvaltaiset metsiköt alkoivat lisääntyä 1950-luvulla, mikä lisääntyminen jatkuu. Kehitys on selvintä Pohjois-Suomessa.

Kuusivaltaisten metsiköiden suhteellisen osuuden lisääntyminen on pysähtynyt Etelä-Suomessa ja vähentyminen voimistunut Pohjois-Suomessa.

Etelä-Suomessa on kaskikauden jälkeisen kuusen lisääntymisen päävaihe jo tapahtunut. Vajaatuottoisten metsiköiden uudistaminen ei ole suuntautunut niin paljon kuin olisi ollut suotavaa kuuselle sopiville parhaille maille. Tämä on johtunut pienikokoisen lehtipuun huonosta menekistä ja alhaisesta hinnasta sekä pyrkimyksestä välttää uudistamisen turvaamistehtäviä rehevillä kasvupaikoilla.

Pohjois-Suomessa kuusikoiden väheneminen on jo niin pitkällä, että sen vaikutus tulee ottaa huomioon metsäteollisuuden kehittämisessä. Kuusen tarjontaa pienentää vielä jäljellä olevien kuusikoiden sijaitseminen alueilla, missä puulajin vaihtamiseen pyrkivän uudistamisen vaikeudet ovat suurimmat, ja missä suunnitellaan laajoja luonnonsuojelualueita.

Metsävarojen kehittämisen ja hyödyntämisen kannalta tulisi tutkimuksella selvittää, mitkä Pohjois-Suomen kasvupaikoista on edullisinta uudistaa kuusikoiksi ja erityisesti, missä puulajin vaihtaminen on liian kallista tai mahdotonta ja hyväksyä näillä kasvupaikoilla kuusikoiden uudistuminen luonnonsiemennyksellä kuusikoiksi.

Lehtipuuvaltaisten metsiköiden suhteellisen osuuden pieneneminen on jatkunut, joskin selvästi hidastuen ja lähinnä koivikoiden Etelä-Suomessa tapahtuneen osuuden pienenemisen vuoksi.

Leppävaltaisten metsiköiden osuus on alkanut lisääntyä. Tämä yhdessä maan lounais- ja länsiosissa tapahtuneen koivuvaltaisten metsiköiden lisääntymisen kanssa osoittaa, että huomattava osa maataloudelta vapautuvasta maasta jää heitteille ja metsittyy luontaisesti vajaatuottoisiksi lehtipuumetsiköiksi. Hieskoivuvaltaisia taimikoita syntyy myös ojitetuille turvemaille.

Koska metsämaan pinta-ala on lisääntynyt, on lehtipuuvaltaisten metsien pinta-ala säilynyt likimain ennallaan 5. ja 6. inventoinnin välisenä aikana. Koivikot ovat vähentyneet ja lepikot sekä myös haavikot lisääntyneet. 1970-luvun menekkioloissa on mahdollista, että lehtipuuvaltaisten sekä suhteellinen osuus että määrä hehtaareissa lisääntyvät. Lisäys on kuitenkin kaikki pienikokoista ja vähäarvoista puuta kasvavia metsiköitä. Vaneritukkia tuottavien metsiköiden määrä on jatkuvasti pienenevä.

Puuttoman uudistusalan osuus noin 4 % on tehokkaan puuntuotannon kannalta liian suuri. Kohtuullinen osuus olisi 1—2 %. Uudistamistoimenpiteitä ei kyetä toteuttamaan niin nopeasti päätehakkuun jälkeen, että maata ei olisi tuottamattomassa tilassa.

Puulajien vallitsevuus eri omistajien metsissä on riippuvainen kasvupaikkojen viljavuuseroista. Osakeyhtiöt ovat uudistaneet muita tehokkaammin vajaatuottoisia lehtipuuvaltaisia metsiköitä havupuumetsiköiksi.

Ikärakenne

Metsämaan metsien ikärakenne on esitetty taulukoissa 9 ja 10, liitetaulukoissa 13 ja 14 sekä eri omistajien metsissä taulukossa 11. Ikärakenteen kehitys verrattuna 1950-luvun alun tilanteeseen ja ikärakenne mänty-, kuusi- ja lehtipuuvaltaisissa metsissä on esitetty kuvissa 7 ja 8.

Tärkein havainto ikärakennetietojen perusteella on taimikkometsiköiden lisääntyminen ja erityisesti Etelä-Suomessa keski-ikäisten metsiköiden väheneminen ja uudistuskypsyyden saavuttaneiden metsiköiden lisääntyminen. Pohjois-Suomessa on vanhimpien metsiköiden väheneminen jatkunut, mutta niitä on vielä erittäin runsaasti. Etelä-Suomessa on puusto selvästi vanhentunut, mikä johtuu kaskikauden jälkeisen ikäluokka-aallon siirtymisestä vanhempiin ikäluokkiin sekä suhteessa kasvuun ja ikärakenteeseen liian pienestä hakkuumäärästä ja vähäisestä uudistamisesta.

Ikärakenteen muutoksista on vaikea saada todellista kuvaa suhteellisten osuuksien perusteella sen vuoksi, että metsämaan pinta-ala on 6. inventoinnin tuloksissa selvästi suurempi kuin kasvullisen metsämaan pinta-ala 3. inventoinnin tuloksissa.

Oheisessa asetelmassa on esitetty 20 vuoden ikäluokkiin ryhmitettyjen metsiköiden pinta-alojen muutokset 3. ja 6. inventoinnin välisenä aikana. Kokonaispinta-alan lisääntymiseen vaikuttanut pääasiallinen tekijä on metsämaan suureneminen suhteessa 3. inventoinnissa käytettyyn kasvulliseen metsämaahan. Toinen suhteelliselta merkitykseltään lähes yhtä merkittävä tekijä on ojitustoiminnalla ja maatalousmaan metsittymisen kautta tapahtunut metsämaan pinta-alan lisääntyminen.

Ikäluokka, v.	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi	Koko maa
	Pinta-alan muutos 1952—1973, 1 000 ha		
0	+ 337	+ 344	+ 681
1— 20	+1 405	+ 695	+2 100
21— 40	+ 186	+ 289	+ 475
41— 60	—1 064	+ 498	— 566
61— 80	— 84	+ 271	+ 187
81—100	+ 275	— 244	+ 31
101—120	+ 200	— 236	— 36
121—140	+ 78	— 219	— 141
141+	+ 10	— 371	— 361
Yhteensä	+1 343	+1 027	+2 370

Taulukko 9. Metsän ikärakenne metsämaalla.
Table 9. Age structure of the forest on forest land.

Puuton *Treeless*	Ikäluokka, vuotta — *Age class, years*								Yhteensä *Total*	
	10	30	50	70	90	110	130	150+		
	% alasta — % *of area*									1 000 ha
Etelä-Suomi — *South Finland*										
3,6	17,1	14,6	17,9	23,4	14,5	6,0	2,1	0,8	100,0	11 312
Pohjois-Suomi — *North Finland*										
4,5	10,8	10,2	12,5	11,3	9,3	9,4	8,2	23,8	100,0	8 426
Koko maa — *Whole country*										
4,0	14,4	12,7	15,6	18,2	12,3	7,5	4,7	10,6	100,0	19 738

Taulukko 10. Mänty-, kuusi- ja lehtipuuvaltaisten metsiköiden ikärakenne.
Table 10. Age structure of tree stands dominated by pine, spruce and deciduous species.

Alue *Area*	Vallitseva puulaji *Dominating tree species*	Ikäluokka, vuotta — *Age class, years*										Yhteensä *Total*	
		10	30	50	70	90	110	130	150	170	190+		
		% alasta — % *of area*											1 000 ha
Etelä-Suomi	Mänty — *Pine*	24,8	13,7	14,6	20,0	15,2	7,6	2,9	0,8	0,3	0,1	100,0	5 539
South Finland	Kuusi — *Spruce*	10,5	14,4	21,1	29,3	16,7	5,7	1,7	0,4	0,1	0,1	100,0	4 363
	Lehtipuut — *Deciduous species*	9,5	27,3	30,4	26,6	5,4	0,7	0,1	·	·	—	100,0	995
Pohjois-Suomi	Mänty — *Pine*	14,9	12,8	15,6	11,9	8,1	8,4	7,5	4,1	3,5	13,2	100,0	5 948
North Finland	Kuusi — *Spruce*	1,4	2,8	2,7	7,1	10,4	13,7	14,9	15,3	11,3	20,4	100,0	1 559
	Lehtipuut — *Deciduous species*	1,1	9,7	16,4	24,6	26,4	14,0	2,6	4,2	0,6	0,4	100,0	540
Koko maa	Mänty — *Pine*	19,7	13,2	15,1	15,8	11,6	8,0	5,2	2,5	2,0	6,9	100,0	11 487
Whole country	Kuusi — *Spruce*	8,1	11,4	16,2	23,4	15,1	7,9	5,2	4,3	3,0	5,4	100,0	5 922
	Lehtipuut — *Deciduous species*	6,5	21,0	25,4	25,9	13,0	5,4	1,0	1,5	0,2	0,1	100,0	1 535

Taulukko 11. Ikärakenne yksityisten, osakeyhtiöiden ja valtion metsissä.
Table 11. Age structure in private, company and state forests.

Omistaja *Owner*	Puuton *Treeless*	Ikäluokka, vuotta — *Age class, years*					Yhteensä *Total*
		1—20	21—40	41—80	81—120	120+	
	% alasta — *% of area*						
		Etelä-Suomi — *South Finland*					
Yksityinen — *Private*	3,7	14,8	14,4	44,4	20,5	2,2	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	4,0	28,4	15,0	30,3	19,9	2,4	100,0
Valtio — *State*	2,6	25,2	16,8	25,1	19,1	11,2	100,0
		Pohjois-Suomi — *North Finland*					
Yksityinen — *Private*	5,7	9,5	10,8	29,8	22,9	21,3	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	5,1	20,9	17,4	21,0	22,0	13,6	100,0
Valtio — *State*	3,6	11,3	9,0	18,7	14,4	43,0	100,0
		Koko maa — *Whole country*					
Yksityinen — *Private*	4,2	13,3	13,3	40,1	21,2	7,9	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	4,3	26,5	15,6	28,0	20,4	5,2	100,0
Valtio — *State*	3,4	13,5	10,3	19,8	15,2	37,8	100,0

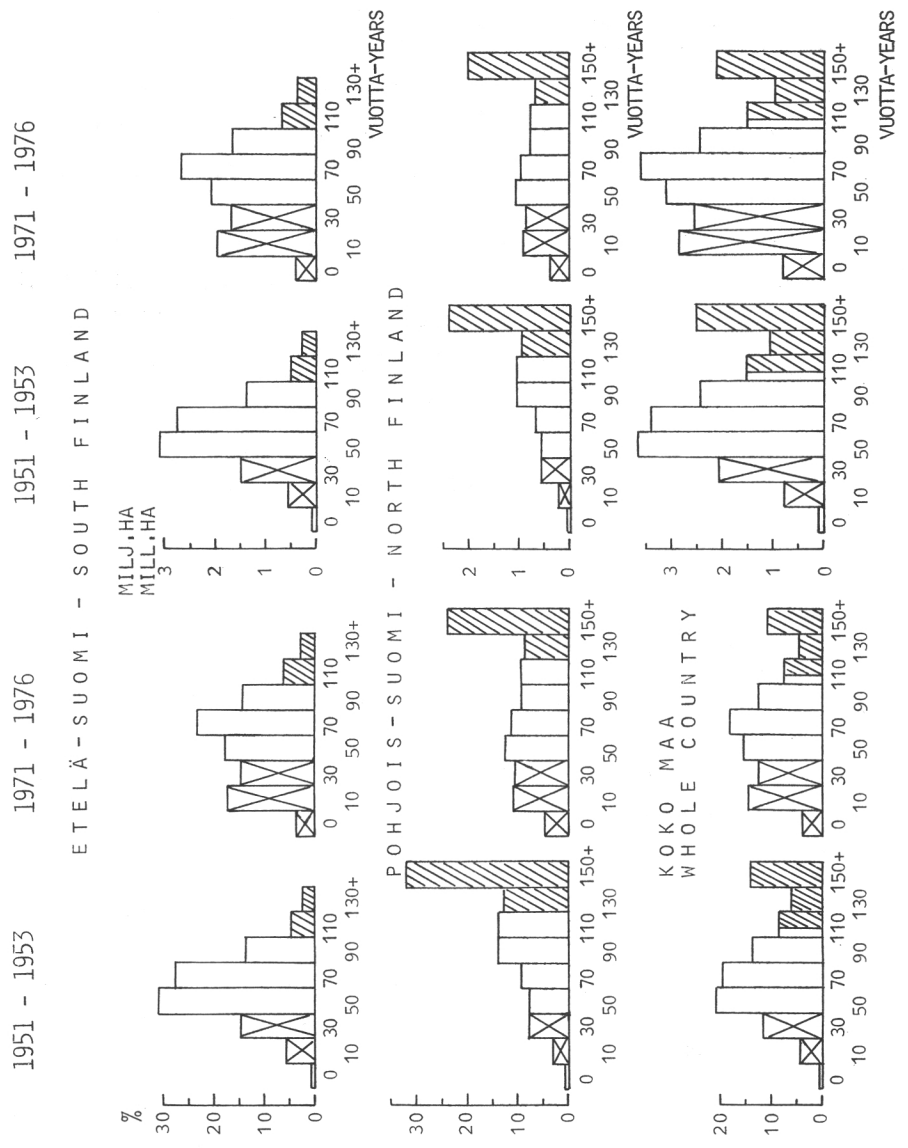
Uudistusalan ja ikäluokkaan 1—40 kuuluvien metsiköiden pinta-ala oli 6. inventoinnin ajankohtana runsaat 3 milj. ha suurempi kuin 1950-luvun alussa.

Yli 100 vuotiaiden metsiköiden pinta-ala on suurentunut vajaat 0,3 milj. ha Etelä-Suomessa ja pienentynyt 0,8 milj. ha Pohjois-Suomessa. Puuston vanhenemista Etelä-Suomessa kuvaa lisäksi vielä se, että yli 80 vuotiaiden metsiköiden pinta-ala on lisääntynyt yli 0,5 milj. ha ja 41—80 vuotiaiden metsiköiden pinta-ala on pienentynyt 1,1 milj. ha.

Puuston nuorentuminen on ollut vielä voimakkaampaa kuin edellä esitetty vertailu osoittaa. 1950-luvun alun jälkeen on noin 2 milj. ha 21—40 vuotiaita metsiköitä siirtynyt yli 40 vuotiaiden metsiköiden kehitysluokkaan. Tämän lisäksi on suuri määrä vapautettuja alikasvoksia, jotka nuorentavat puustoa ilman, että metsässä on puutonta uudistusalaa. Suuruusluokka-arviona voidaankin esittää, että viimeisten 25 vuoden aikana on uusia nuoria metsiköitä ilmaantunut noin 6 milj. ha.

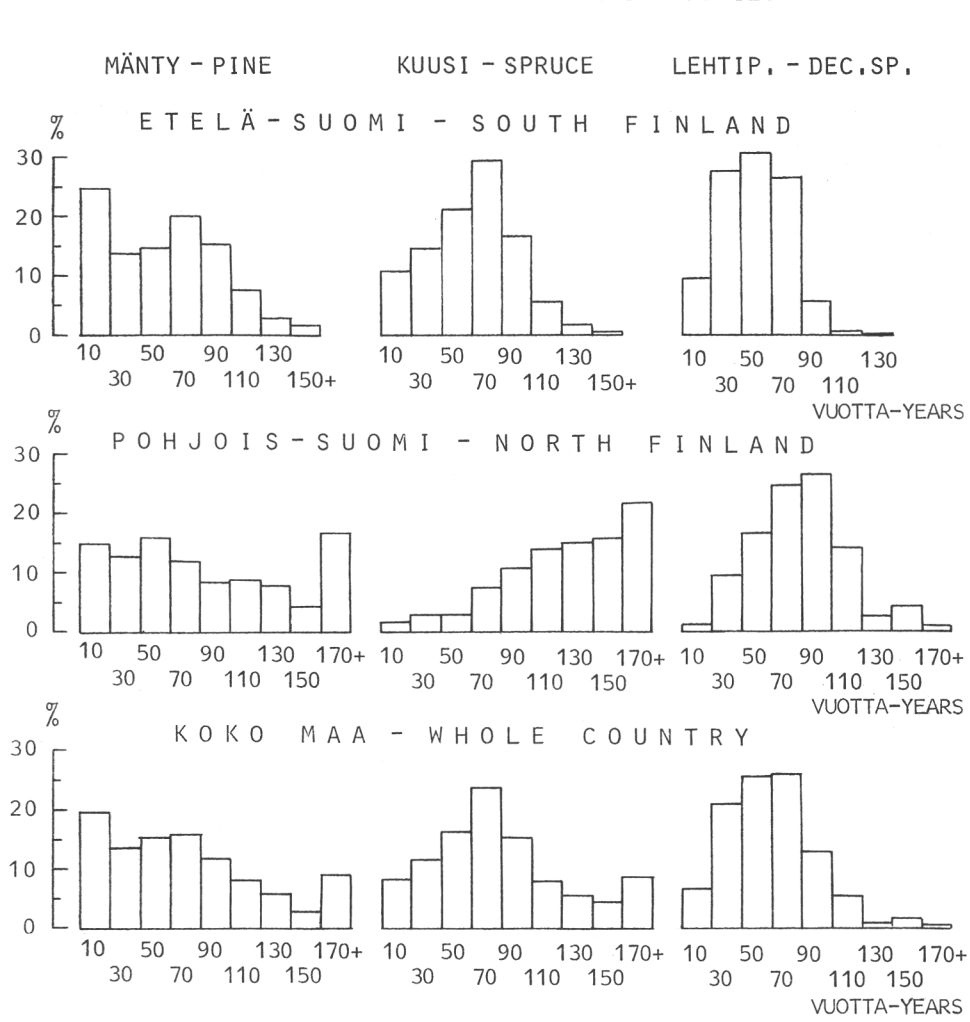
Kuvan 7 perusteella voidaan todeta, että ikärakenne on tasoittunut selvästi Etelä-Suomessa. Puuston kasvukunnon kannalta vanhimpia metsiköitä olisi kuitenkin pitänyt uudistaa enemmän kuin on tapahtunut. Ikärakenne on tasoittunut myös Pohjois-Suomessa, jossa yli 120 vuotiaat metsiköt ovat selvästi vähentyneet. Ikärakenteen kehittyminen Pohjois-Suomessa edellyttää vanhimpien metsiköiden määrätietoisen uudistamisen jatkamista.

Niinkuin kuva 8 osoittaa, uudistamisessa on suosittu mäntyä. Uudistaminen on siten keskittynyt keskimääräistä huonommille kasvupaikoille. Metsävarojen kehittäminen edellyttää uudistamisen painottumista tähänastista enemmän parhaille kasvupaikoille. Jos näin tapahtuu, merkitsee se kuusikoiden ja pääosaksi lehtipuuvaltaisten vajaatuottoisten metsiköiden lisättyä uudistamista.



Kuva 7. Ikärakenteen kehittyminen 1951—1976.
Fig. 7. Development of the age structure 1951—1976.

Omistajittain on yksityismetsissä uudistaminen ollut suhteellisesti vähäisempää kuin osakeyhtiöiden ja valtion metsissä (taulukko 11). Tämä korostuu vielä, kun ottaa huomioon, että yksityismetsissä ovat parhaat kasvupaikat, joilla ohjekiertoajat ovat lyhimmät. Niinpä Etelä-Suomen yksityismetsissä on yli 80 vuotiaiden metsiköiden pinta-alaosuus 23 %. Kun ottaa vielä huomioon, että 41—80 vuotiaiden metsiköiden pinta-alaosuus on 44 %, merkitsee tämä sitä, että yksityismetsissä on erittäin paljon päätehakkuumahdollisuuksia tulevaisuudessa.



Kuva 8. Ikärakenne mänty-, kuusi- ja lehtipuuvaltaisissa metsissä.
Fig. 8. Age structure of forests dominated by pine, spruce and deciduous species.

Pohjois-Suomessa näyttää valtion metsissä vanhimpien metsiköiden uudistaminen hidastuneen. Osaksi tämä johtuu puuston kartuttamisen tarpeesta valtion metsissä, mutta pääsyy on todennäköisesti yleisessä mielipiteessä vallinnut käsitys, jonka mukaan luonnonsuojelu edellyttää yli-ikäisten ja lahoavien puustojen seisottamista.

Inventoinneissa arvioidaan myös sellaisten kuivien puiden kuutiomäärä, joista saadaan ainakin käyttökelpoista polttopuuta. 5. ja 6. inventoinnin arviot ovat:

	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi	Yhteensä
5. inventointi	4,7	26,0	30,7
6. inventointi	7,6	24,4	32,0

Kuivan puuston määrä on alkanut suureta Etelä-Suomessa. Syynä tähän on ilmeisestikin harvennusten välin piteneminen, vanheneva puusto ja huonontuneet edellytykset korjata tuhojen jälkeen pieniä puumääriä. Pohjois-Suomessa kuivan puuston määrän pieneneminen on jatkunut vanhojen metsien uudistamisen edistyessä. Vertauksen vuoksi todettakoon, että kuivan puuston kuutiomäärä oli 52,5 milj. m³ vuosina 1936—38 ja 38,3 milj. m³ vuosina 1951—53.

Kehitysluokkarakenne

Metsiköiden kehitysluokkiin jakaantumista kuvaavat tiedot maan eri osissa ja omistajittain esitetään taulukossa 12, kuvassa 9 ja liitetaulukoissa 15 ja 16.

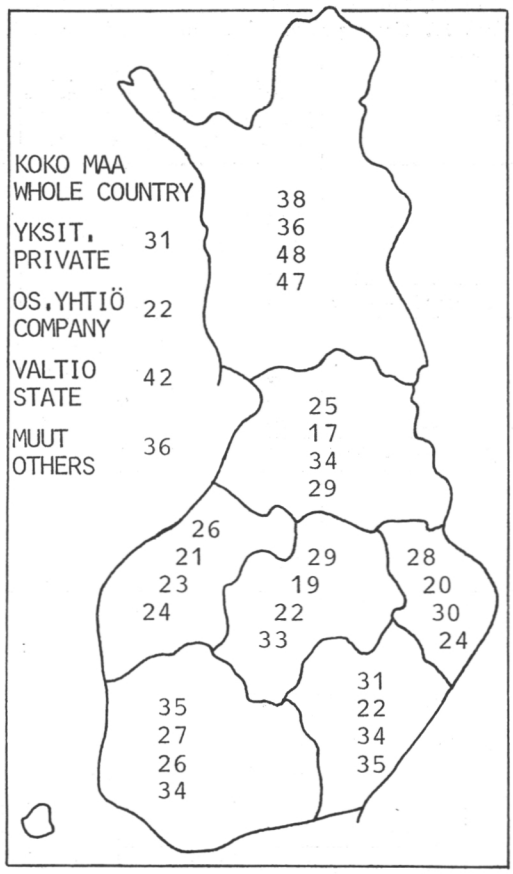
Tulosten vertailu 5. inventoinnin tulosten kanssa osoittaa, että uudistaminen on vähentynyt osakeyhtiöiden ja valtion metsissä mutta lisääntynyt yksityismetsissä. Jälkimmäisissä voitaisiin uudistamista jouduttaa lähinnä Etelä-Suomessa ilman, että kestävyys vaarantuu.

Suojuspuuston ja uudistuskypsien sekä vajaatuottoisten metsiköiden yhteinen pinta-alaosuus on jatkuvasti suurin valtion metsissä ja Pohjois-Suomessa. Näitä metsiköitä on runsaasti myös maan eteläisimmissä osissa.

Vajaatuottoisten metsiköiden osuus on 6. inventoinnin tulosten mukaan pienentynyt hieman Etelä-Suomessa ja lisääntynyt Pohjois-Suomessa. Tällä tunnuksella mitattuna metsien tila on selvästi parhain osakeyhtiöillä. Pohjois-Suomessa on vajaatuot-

Taulukko 12. Metsiköiden kehitysluokkien ryhmät yksityisten, osakeyhtiöiden ja valtion metsissä.
Table 12. Groups of tree stand development classes in private, company and state forests.

Kehitysluokka *Development class*	Etelä-Suomi *South Finland*			Pohjois-Suomi *North Finland*			Koko maa *Whole country*		
	Yksityinen *Private*	Osakeyhtiö *Company*	Valtio *State*	Yksityinen *Private*	Osakeyhtiö *Company*	Valtio *State*	Yksityinen *Private*	Osakeyhtiö *Company*	Valtio *State*
	% alasta — % *of area*								
Uudistusala, taimisto, riukuvaihe — *Regeneration area, seedling and sapling stand* ..	26,8	42,6	40,7	35,1	50,0	32,0	29,3	44,5	33,5
Kasvatusmetsikkö — *Thinning stand*	42,7	36,0	32,3	33,0	28,0	23,2	39,8	34,0	24,6
Uudistuskypsä — *Mature* ..	30,5	21,4	27,0	31,9	22,0	44,8	30,9	21,5	41,9
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vajaatuottoinen — *Low-yielding*	13,7	5,6	9,6	17,3	11,9	20,3	14,8	7,1	18,6



Kuva 9. Uudistuskypsien, suojuspuu- ja vajaatuottoisten metsiköiden osuusprosentti metsämaan alasta omistajittain.

Fig. 9. Percentage of area of mature, shelterwood, and mature tree stands of the forest land area by ownership categories.

toisia metsiköitä niiden yli-ikäisyyden vuoksi eniten valtiolla. Kun otetaan huomioon yksityismetsien sijainti parhailla mailla ja parhaissa menekkioloissa, voidaan vajaatuottoisten metsiköiden runsautta niissä pitää yhtenä pahimmista metsien tuotannollisista heikkouksista.

Kuutiomäärä

Puuston kuutiomäärä ja sen puulajisuhteita kuvaavat tiedot esitetään taulukoissa 13 ja 14 ja näiden tunnuksien kehittyminen kuvassa 10.

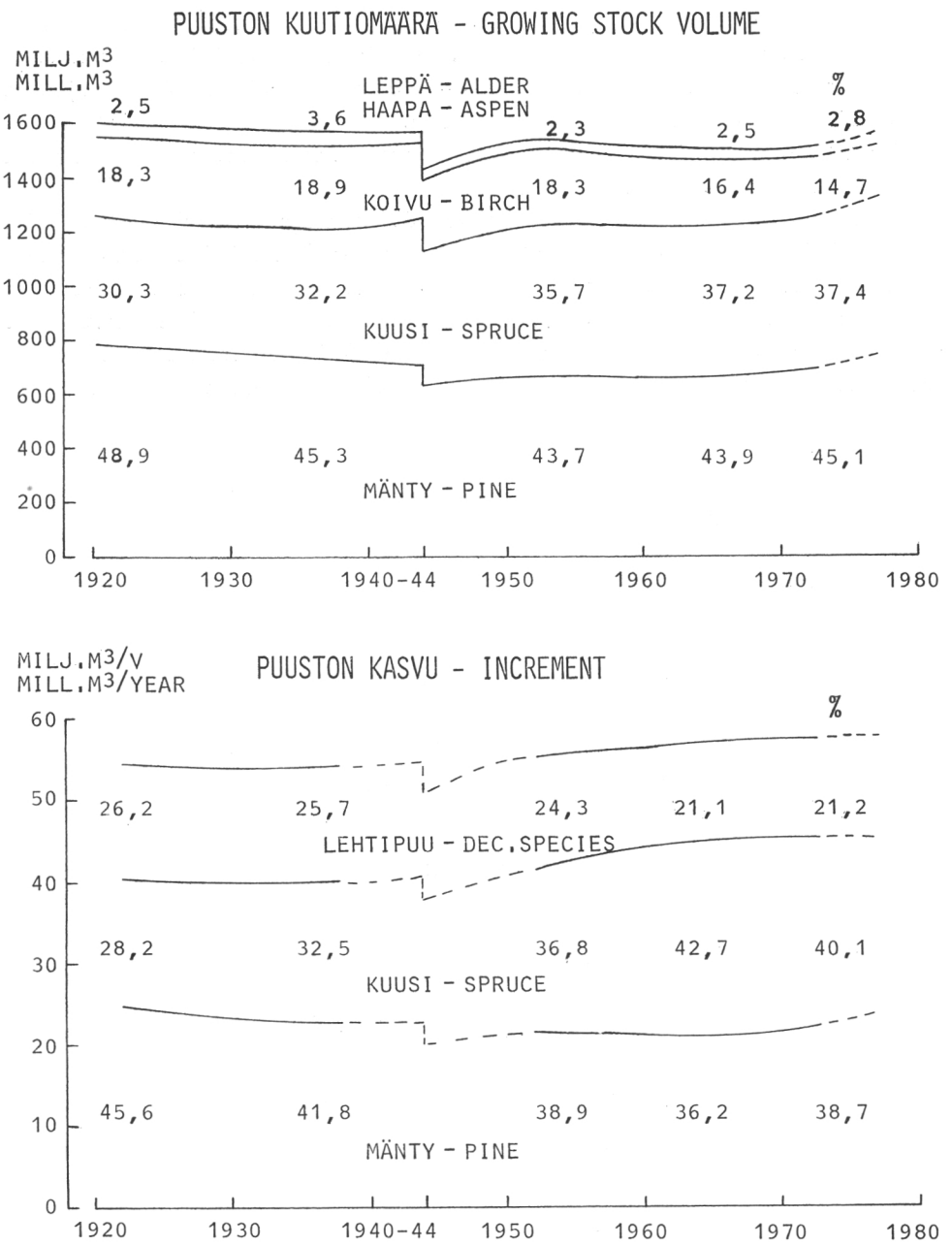
Taulukko 13. Puuston kuutiomäärä runkopuuta kuorineen.
Table 13. Growing stock volume, stem wood over bark.

Puulaji *Tree species*	Metsämaalla *On forest land*		Kitumaalla *On poorly prod.land*		Yhteensä *Total*		Kuoriprosentti *Bark percentage*
	milj.m³ *mill.m³*	%	milj.m³ *mill.m³*	%	milj.m³ *mill.m³*	%	
	Etelä-Suomi — *South Finland*						
Mänty — *Pine*	414	98	11	2	425	100	16,1
Kuusi — *Spruce*	448	100	·	·	448	100	15,5
Lehtipuut — *Dec.sp.*	184	99	1	1	185	100	16,2
Yhteensä — *Total*	1 046	99	12	1	1 058	100	15,8
	Pohjois-Suomi — *North Finland*						
Mänty — Pine	244	93	17	7	261	100	16,3
Kuusi — *Spruce*	116	97	4	3	120	100	16,4
Lehtipuut — *Dec.sp.*	74	92	7	8	81	100	18,4
Yhteensä — *Total*	434	94	28	6	462	100	16,7
	Koko maa — *Whole country*						
Mänty — Pine	658	96	28	4	686	100	16,1
Kuusi — *Spruce*	564	99	4	1	568	100	15,7
Lehtipuut — *Dec.sp.*	258	97	8	3	266	100	16,8
Yhteensä — *Total*	1 480	97	40	3	1 520	100	16,1

Taulukko 14. Puulajien osuudet kuutiomäärästä 5. ja 6. inventoinnin tulosten mukaan 6. inventoinnin kuutioimismenetelmällä.
Table 14. Growing stock volume by tree species according to the results of 5th and 6th inventory and calculated by the volume functions of 6th inventory.

Aika ja alue *Time and area*	Mänty *Pine*		Kuusi *Spruce*		Koivu *Birch*		Haapa *Aspen*		Leppä *Alder*		Yhteensä *Total*	
	milj. *mill.* m³	%	milj. *mill.* m³	%	milj. *mill.* m³	%	milj. *mill.* m³	%	milj. *mill.* m³	%	milj. *mill.* m³	%
1964—70												
Etelä-Suomi — *South Finland*	402	39,2	426	41,6	167	16,3	13	1,2	17	1,7	1 025	100,0
Pohjois-Suomi — *North Finland*	253	54,3	129	27,5	77	16,5	6	1,4	1	0,3	466	100,0
Koko maa — *Whole country*	655	43,9	555	37,2	244	16,4	19	1,3	18	1,2	1 491	100,0
1971—76												
Etelä-Suomi — *South Finland*	425	40,1	448	42,4	151	14,3	11	1,0	23	2,2	1 058	100,0
Pohjois-Suomi — *North Finland*	261	56,6	120	25,9	73	15,8	5	1,1	3	0,6	462	100,0
Koko maa — *Whole country*	686	45,1	568	37,4	224	14,7	16	1,1	26	1,7	1 520	100,0

Kahden viimeisimmän inventoinnin välillä on puuston kuutiomäärä alkanut lisääntyä. Suureneminen 5. inventoinnin tulokseen verrattuna on 28 milj. m³. Havupuiden ja lepän kuutiomäärän arvio on suurentunut, kun taas koivun ja haavan pienentynyt.



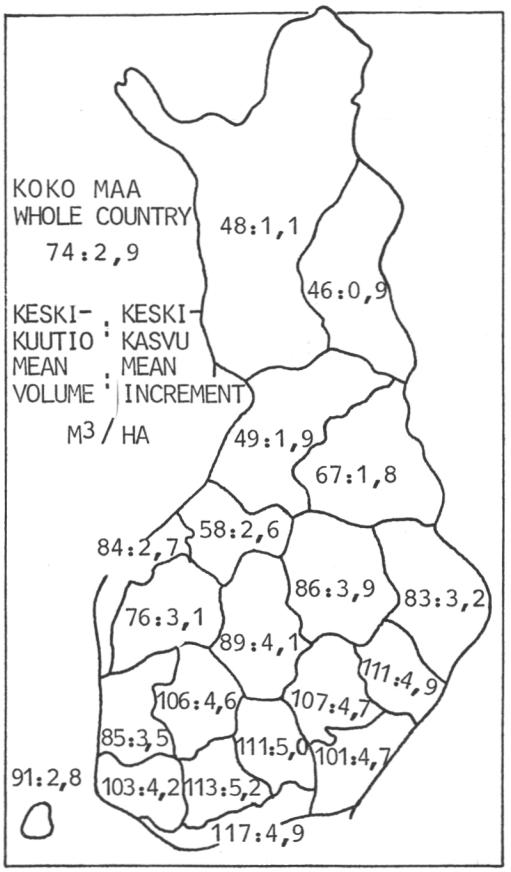
Kuva 10. Puuston kuorellisen runkopuun puulajeittaisen kuutiomäärän ja kasvun kehittyminen 1921—1976.

Fig. 10. Development of the growing stock volume and its increment, stem wood, over bark, by tree species, 1921—1976.

Kuusen kuutiomäärän suhteellisen osuuden suureneminen on selvästi hidastunut, kun taas männyn osuus on alkanut suureta. Runsaiden mäntyvaltaisten taimikoiden perusteella on pääteltävissä, että männyn osuuden suureneminen voimistuu ja että mänty tulee säilyttämään pääpuulajin asemansa.

Lepän kuutiomäärän suureneminen on osoitus maataloudelta vapautuvan maan luontaisen metsittymisen runsaudesta.

Lehtipuiden osuuden pienentäminen ei ole edistynyt lähestulkoonkaan niin nopeasti kuin mitä 1950-luvun lopulla pidettiin tarpeellisena (esim. Ilvessalo 1959, s. 18) ja mikä saavutettuna olisi lisännyt metsien tuotoksen arvoa enemmän kuin millään muulla metsänparannustoimenpiteellä on ollut mahdollista aikaansaada. Onhan koivukuitupuun kantohinta vuosien 1974 ja 1975 korkeasuhdannetta lukuunottamatta ollut noin 20 % havutukin ja selvästi alle puolet havukuitupuun kantohinnasta.



Kuva 11. Kuorellisen runkopuun keskikuutio ja keskikasvu metsämaalla piirimetsälautakuntien alueilla.

Fig. 11. Mean volume and increment of stem wood, over bark, on forest land in Forestry Board Districts.

Puuston kuutiomäärän selvä pieneneminen Pohjois-Suomessa 1950- ja 1960-luvulla on miltei loppunut 1970-luvulla. Männyn kuutiomäärä on alkanut suureta ja lehtipuiden kuutiomäärä on säilynyt miltei ennallaan.

Keskikuutio metsämaalla piirimetsälautakuntien alueilla esitetään kuvassa 11. Keskikuutio on suurentunut maan lounais- ja eteläosissa, kun taas niillä alueilla, missä metsämaan pinta-alan lisäys on ollut suhteellisesti suurinta ja missä kuutiomäärä on pienentynyt, keskikuutio on pienentynyt. Maan niissä osissa, missä on uudistettu eniten vanhoja metsiköitä, ollaan siirtymässä keskikuution suurenemisen kauteen.

Kuutiomäärän jakaantuminen puulajeittain osa-alueille 1—7 esitetään taulukossa 15 ja kuvassa 12. Puuston kasaantuminen maan lounais- ja eteläosaan on jatkunut 5. inventoinnin jälkeen. Uusien taimikoiden alkaessa varttua nykyistä suuremman keskikuution ikävaiheeseen alkaa myös kuutiomäärän suhteellinen osuus suureta Pohjois-Suomessa.

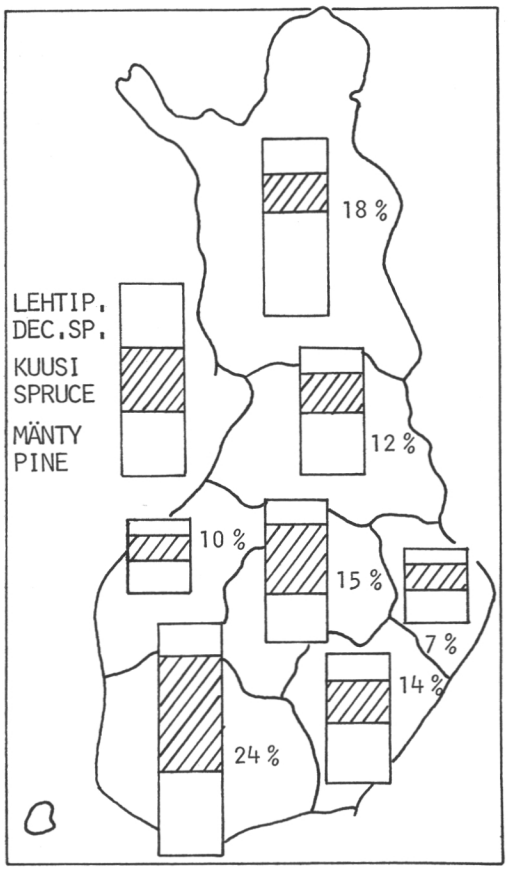
Taulukko 15. Puuston ja puulajien kuutiomäärä osa-alueilla 1—7 (kuva 1).
Table 15. Growing stock and tree species volume in sub-areas 1—7 (fig. 1).

Puulaji *Tree species*	Osa-alue — *Sub-area*							
	1	2	3	4	5	6	7	Yhteensä *Total*
	% kuutiomäärästä — % *of volume*							
Mänty — *Pine*	19,7	13,8	7,4	11,1	9,9	14,4	23,7	100,0
Kuusi — *Spruce*	31,6	11,7	7,2	19,2	9,3	10,0	11,0	100,0
Lehtipuut — *Dec.sp.*	20,0	16,9	8,7	14,3	9,7	11,3	19,1	100,0
Yhteensä — *Total*	24,2	13,6	7,5	14,7	9,7	12,2	18,1	100,0

Puuston kuutiomäärä eri omistajien metsissä esitetään taulukossa 16 ja kuutiomäärän suhteellisten osuuksien kehittyminen kuvassa 20, s. 67. Suhteelliset osuudet 5. ja 6. inventoinnin tulosten mukaan ovat:

	Yksityinen	Osakeyhtiö	Valtio	Muut	Yhteensä
5. inventointi	70,8	6,0	19,5	3,7	100,0
6. inventointi	70,5	6,9	18,3	4,3	100,0

Kuutiomäärän suhteellinen osuus on lisääntynyt osakeyhtiöiden ja kuntien, seurakuntien ja yhteisöjen metsissä. Tämä johtuu sekä metsäalan lisääntymisestä että kasvua pienemmästä hakkuumäärästä inventointien välillä. Yksityismetsien kuutiomääräosuuden vähäinen pieneneminen johtuu metsäalan pienenemisestä. Valtion metsissä on kuutiomääräosuuden pienenemisen todennäköisesti aiheuttanut se, että runsaspuustoisia valtion metsiä on siirretty lisämetsinä ja uusina tiloina yksityisomistukseen, kun taas valtion ostamat metsäpalstat ovat olleet erittäin vähäpuustoisia.



Kuva 12. Puuston ja puulajien kuutiomäärä osa-alueilla 1—7 (kuva 1).

Fig. 12. Volume of the growing stock and tree species in sub-areas 1—7 (Fig. 1).

Puuston keskikuutio kehitysluokittain ja eri omistajien metsissä on esitetty taulukossa 17 ja liitetaulukossa 16 sekä keskikuution muutos 5. ja 6. inventoinnin välisenä aikana nuorissa ja varttuneissa kasvatusmetsiköissä sekä uudistuskypsissä metsiköissä yksityisten, osakeyhtiöiden ja valtion metsissä kuvassa 13.

Varttuneissa kasvatusmetsiköissä ja uudistuskypsissä metsiköissä keskikuutio on selvästi suurentunut Etelä-Suomessa, kun taas Pohjois-Suomessa ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. Kun otetaan huomioon kasvupaikkojen laatu eri omistajien metsissä, on näiden metsiköiden tiheys suhteellisesti suurin osakeyhtiöiden metsissä. Keskikuution suureneminen uudistuskypsissä ja uudistuskypsyyttä lähestyvissä metsi-

Taulukko 16. Puuston kuutiomäärä kuorineen puulajeittain ja omistajittain.
Table 16. Growing stock volume, over bark, by tree species and ownership categories.

Puulaji *Tree species*	Yksityinen *Private*	Osakeyhtiö *Company*	Valtio *State*	Muut *Others*	Yhteensä *Total*
	% kuutiomäärästä — % *of volume*				milj. m³ *mill. m³* %
	Etelä-Suomi — *South Finland*				
Mänty — *Pine*	38,4	46,3	52,8	45,1	425
Kuusi — *Spruce*	43,2	41,1	33,3	40,0	448
Lehtipuut — *Dec.sp.*	18,4	12,6	13,9	14,9	185
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	1 058
	Pohjois-Suomi — *North Finland*				
Mänty — *Pine*	54,3	52,0	58,7	60,1	261
Kuusi — *Spruce*	26,6	34,9	24,6	24,6	120
Lehtipuut — *Dec.sp.*	19,1	13,1	16,7	15,3	81
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	462
	Koko maa — *Whole country*				
Mänty — Pine	41,4	47,3	57,5	50,3	686
Kuusi — *Spruce*	40,1	40,0	26,4	34,7	568
Lehtipuut — *Dec.sp.*	18,5	12,7	16,1	15,0	266
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	1 520
	Etelä-Suomi — *South Finland*				
Mänty — Pine	78,8	9,5	7,2	4,5	100,0
Kuusi — *Spruce*	83,9	8,0	4,3	3,8	100,0
Lehtipuut — *Dec.sp.*	86,3	5,9	4,3	3,5	100,0
Yhteensä — *Total*	82,3	8,2	5,4	4,1	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*				
Mänty — *Pine*	41,7	3,5	49,5	5,3	100,0
Kuusi — *Spruce*	44,7	5,1	45,5	4,7	100,0
Lehtipuut — *Dec.sp.*	47,4	2,8	45,5	4,3	100,0
Yhteensä — *Total*	43,5	3,8	47,8	4,9	100,0
	Koko maa — *Whole country*				
Mänty — *Pine*	64,7	7,2	23,3	4,8	100,0
Kuusi — *Spruce*	75,7	7,4	12,9	4,0	100,0
Lehtipuut — *Dec.sp.*	74,5	5,0	16,8	3,7	100,0
Yhteensä — *Total*	70,5	6,9	18,3	4,3	100,0

köissä merkitsee sitä, että päätehakkuiden kertymä hehtaaria kohti suurenee, mikä parantaa edellytyksiä korjuun taloudellisesti edulliselle suorittamiselle.

Nuorten kasvatusmetsiköiden keskikuution pieneneminen ei johtune voimakkaista kasvatushakkuista vaan siitä, että tähän kehitysluokkaan siirtyvät riukuvaiheen metsiköt painottuvat keskimääräistä karummille kasvupaikoille ja karummille kuin millä nuorista kasvatusmetsiköistä varttuneisiin siirtyvät kasvavat. Oheisessa asetelmassa esitetään omistajittain kuutiomäärä sellaisissa metsiköissä, joiden puusto voidaan korjata välittömästi (vrt. kuva 14):

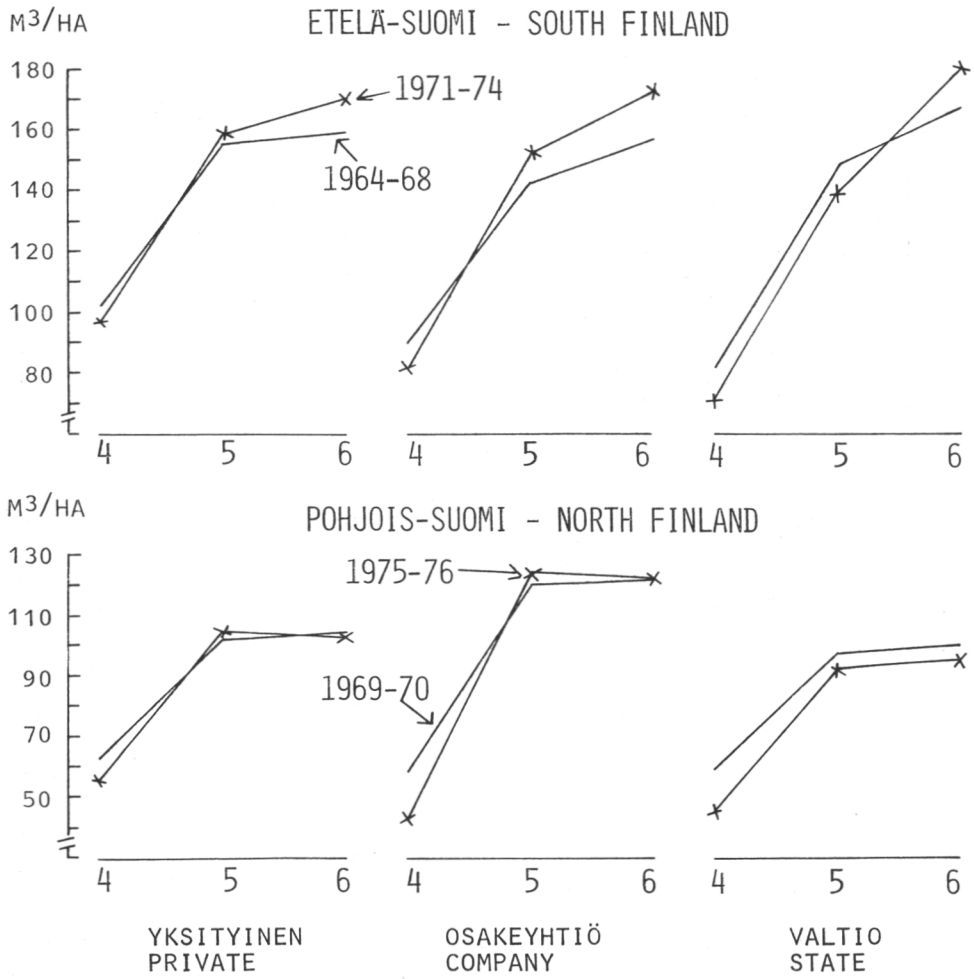
	Yksityinen	Osakeyhtiö	Valtio	Muut	Yhteensä
			Milj. m³		
Siemen- ja suojuspuumetsiköt ..	51	6	15	5	77
Uudistuskypsät metsiköt	230	26	94	20	370
Vajaatuottoiset metsiköt	130	7	61	7	205
Yhteensä	411	39	170	32	652

Metsämaan puuston kuutiomäärästä oli 6. inventoinnin kenttätyön ajankohtana 652 milj. m³ eli 44 % sellaisissa metsiköissä, joiden puusto voitaisiin välittömästi korjata. Korjuukypsän puuston kasautuma on jo erittäin suuri. Suhteellisesti eniten sitä on valtion metsissä ja vähiten yksityismetsissä. Absoluuttisesti määrä on kuitenkin selvästi suurin yksityismetsissä, koska niiden osuus metsävaroista on suurin.

Taulukko 17. Puuston keskikuutio kuorellista puuta metsiköiden kehitysluokittain ja omistajittain.
Table 17. Mean volume of the growing stock, over bark, by development classes of the tree stands and ownership categories.

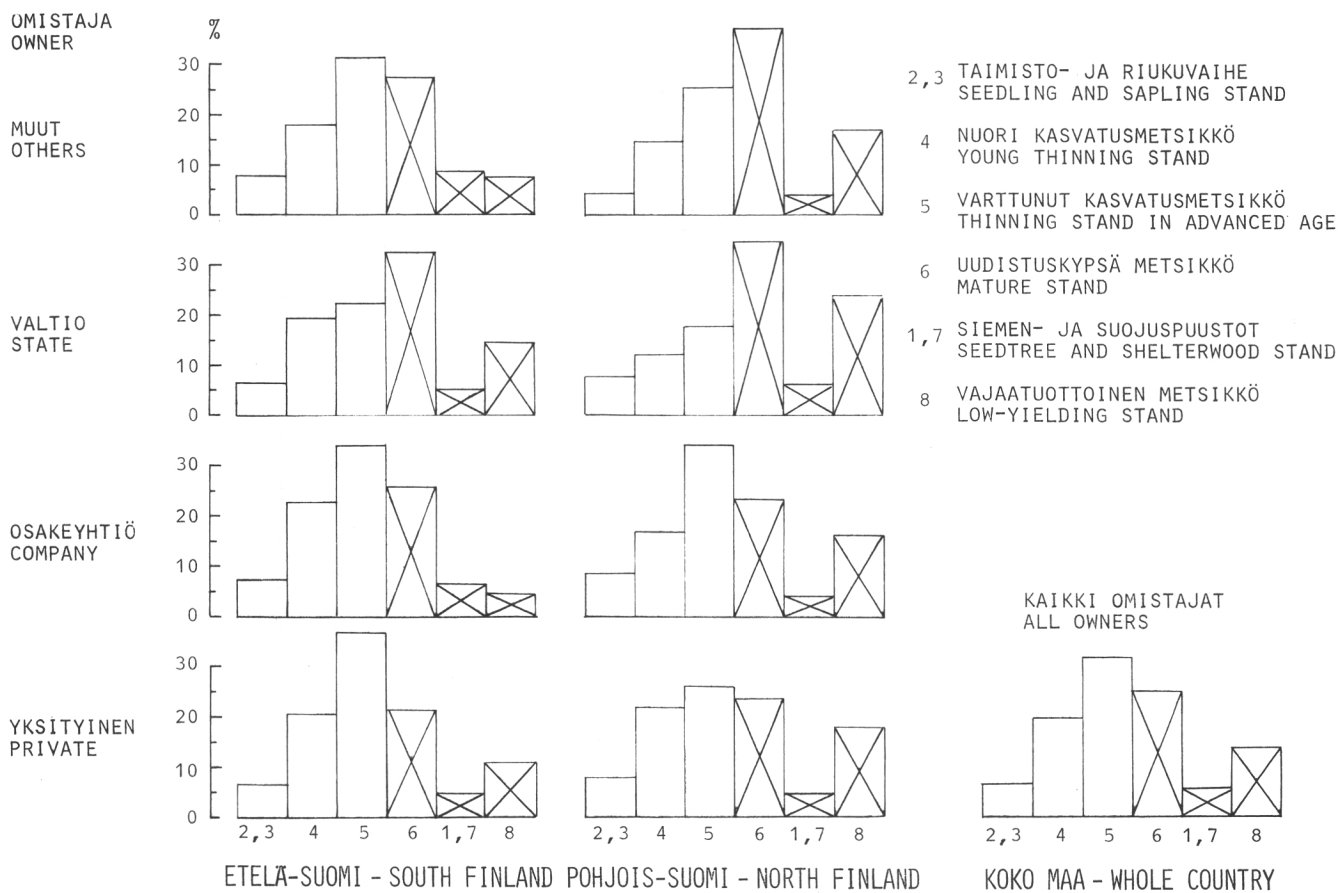
Omistaja *Owner*	Kehitysluokka — *Development class* 1	2	3	4	5	6	7	8	Yhteensä *Total*
	m³/ha								
	Etelä-Suomi — *South Finland*								
Yksityinen — *Private*	9	17	33	97	159	170	88	77	97
Osakeyhtiö — *Company*	4	7	18	82	153	173	83	60	73
Valtio — *State*	4	5	17	71	139	180	88	111	73
Muut — *Others*	7	15	27	89	146	171	90	76	88
Yhteensä — *Total*	8	14	28	93	157	171	88	78	92
	Pohjois-Suomi — *North Finland*								
Yksityinen — *Private*	5	7	17	56	104	116	47	52	52
Osakeyhtiö — *Company*	6	2	12	43	124	122	56	57	43
Valtio — *State*	5	7	17	45	92	95	41	60	51
Muut — *Others*	6	6	13	52	116	105	45	63	62
Yhteensä — *Total*	5	7	16	51	101	103	44	56	52
	Koko maa — *Whole country*								
Yksityinen — *Private*	7	14	26	85	148	156	77	69	84
Osakeyhtiö — *Company*	5	6	16	73	147	164	81	42	65
Valtio — *State*	5	7	17	51	101	105	47	64	55
Muut — *Others*	7	12	22	74	135	136	78	68	77
Yhteensä — *Total*	7	11	22	77	140	140	69	67	75

1 = Aukea uudistusala tai siemenpuusto — *Open area or seed tree stand.*
2 = Pieni taimisto — *Small seedling stand.*
3 = Taimisto tai riukuasteen metsikkö — *Seedling or sapling stand.*
4 = Nuori kasvatusmetsikkö — *Young thinning stand.*
5 = Varttunut kasvatusmetsikkö — *Thinning stand in advanced state.*
6 = Uudistuskypsä metsikkö — *Mature stand.*
7 = Suojuspuumetsikkö — *Shelterwood stand.*
8 = Vajaatuottoinen metsikkö — *Low-yielding stand.*



Kuva 13. Puuston keskikuutio yksityisten, osakeyhtiöiden ja valtion metsissä nuorissa (4) ja varttuneissa kasvatusmetsiköissä (5) sekä uudistuskypsissä metsiköissä (6) 5. ja 6. inventoinnin tulosten mukaan.

Fig. 13. Mean volume of the growing stock in the private, company and state forests in young thinning stands (4), thinning stands in advanced age (5) and mature stands (6).



Kuva 14. Metsämaan puuston kuutiomäärän suhteellinen jakaantuminen kehitysluokkien metsiköihin eri omistajilla.
Fig. 14. Proportional distribution of the growing stock volume by stand development classes in the forests of ownership categories.

Läpimittaluokkarakenne

Puuston runkoluvun jakaantuminen läpimittaluokkiin esitetään taulukossa 18 ja kuutiomäärän läpimittaluokkiin jakaantuminen ja sen kehittyminen kuvassa 15. Verrattaessa tuloksia aikaisempien inventointien tuloksiin on otettava huomioon, että rinnankorkeuden mittauskohdan alentaminen 6. inventoinnissa lisää näennäisesti hieman puuston järeytymistä. Tämä merkitsee sitä, että esim. puuston vähäinen järeytyminen ei ole todellista, vaan läpimitan mittauskohdan muuttumisesta aiheutunutta.

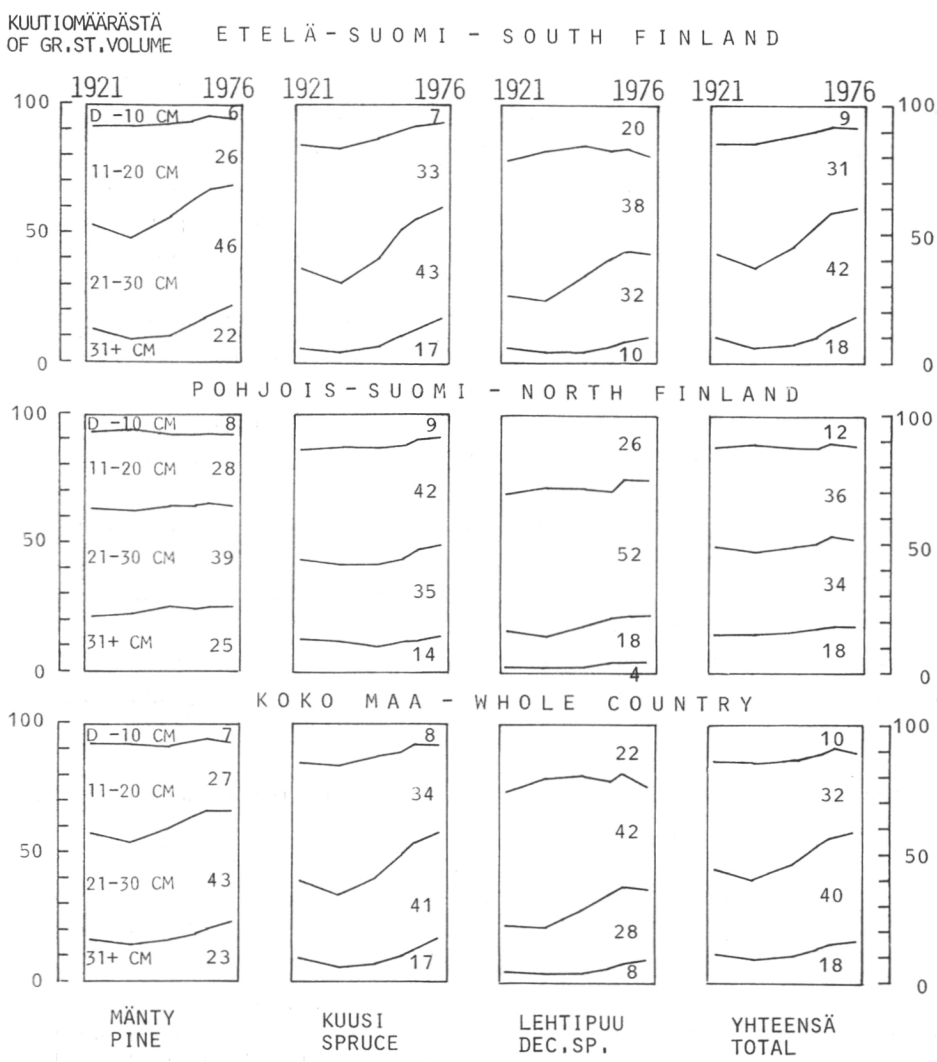
Kuten kuvasta 15 voidaan todeta, on 2. inventoinnin jälkeen alkanut puuston voimakas järeytyminen hidastunut 5. ja 6. inventoinnin välillä. Rinnankorkeudelta yli 20 cm olevien puiden kuutiomäärä on kuitenkin suurentunut enemmän kuin niiden suhteellinen osuus, sillä puuston kokonaiskuutiomäärä on lisääntynyt. Suhteellisten osuuksien muutoksiin vaikuttaakin lähitulevaisuudessa eniten uusien taimikkometsien kuutiomäärän suureneminen.

Mäntyä suosinut uusien metsiköiden perustaminen näkyy läpimittarakenteessa siten, että alle 10 cm rinnankorkeudelta olevien puiden kuutiomääräosuus on alkanut suureta. Samalla tavalla näkyy myös maataloudelta vapautuneen maan ja ojitettujen soiden metsittyminen lehtipuilla.

Puuston suhteellisen järeyden lisääntyminen on aiheutunut kokonaan yli 20 cm rinnankorkeudelta olevien kuusien lisääntymisestä. Järeiden lehtipuiden määrä on

Taulukko 18. Runkoluvun jakaantuminen 1 cm:n rinnankorkeusläpimittaluokan ryhmiin metsämaalla.
Table 18. Distribution of stems by 1 cm DBH-classes on forest land.

Puulaji *Tree species*	1 cm:n rinnankorkeusläpimittaluokkien ryhmät *Groups of 1 cm DBH-classes*									Yhteensä *Total*
	3—4	5—9	10—14	15—19	20—24	25—29	30—34	35—39	40+	
	% runkoluvusta — % *of stem number*									
	Etelä-Suomi — *South Finland*									
Mänty — *Pine*	23,6	34,5	16,8	10,4	7,4	4,6	2,0	0,6	0,1	100,0
Kuusi — *Spruce*	24,9	36,9	17,4	10,1	6,0	3,1	1,2	0,3	0,1	100,0
Lehtipuut — *Dec.sp.*	47,1	36,0	9,8	3,9	2,0	0,8	0,3	0,1	·	100,0
Yhteensä — *Total*	32,8	35,9	14,4	7,9	4,9	2,6	1,1	0,3	0,1	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*									
Mänty — *Pine*	28,6	37,4	15,6	8,1	5,1	2,9	1,4	0,6	0,3	100,0
Kuusi — *Spruce*	21,3	39,5	19,9	11,0	4,9	2,1	0,9	0,3	0,1	100,0
Lehtipuut — *Dec.sp.*	39,0	40,9	13,8	4,5	1,3	0,4	0,1	·	·	100,0
Yhteensä — *Total*	30,8	39,2	15,9	7,5	3,6	1,8	0,8	0,3	0,1	100,0
	Koko maa — *Whole country*									
Mänty — *Pine*	25,9	35,8	16,2	9,4	6,3	3,9	1,7	0,6	0,2	100,0
Kuusi — *Spruce*	24,0	37,6	18,1	10,3	5,7	2,8	1,1	0,3	0,1	100,0
Lehtipuut — *Dec.sp.*	44,3	37,8	11,1	4,1	1,7	0,7	0,2	0,1	·	100,0
Yhteensä — *Total*	32,1	37,1	14,9	7,7	4,4	2,4	1,0	0,3	0,1	100,0



Kuva 15. Puuston puulajeittaisen kuutiomäärän läpimittaluokkiin jakaantumisen kehittyminen 1921—1976.

Fig. 15. Development of the growing stock volume by DBH-classes and tree species 1921—1976.

pienentynyt 5. inventoinnin jälkeen. Pohjois-Suomessa on koko järeän puuston määrä pienempi kuin 5. inventoinnin ajankohtana.

Yli 20 cm rinnankorkeudelta olevien puiden osuus on 58 % puuston kuutiomäärästä. Puuston arvon suureneminen on ollut erittäin merkittävää. Osaksi se on johtunut metsien ikärakenteen kehittymisestä, mutta tärkein tekijä on ollut kasvatushakkuiden laadun paraneminen 1920- ja 1930-luvulle jatkuneen harsintakauden jälkeen.

Tukkipuusto

Tukkirunkojen lukumäärä läpimittaluokittain, tukkirunkojen kuutiomäärän jakaantuminen läpimittaluokkiin ja tukkirunkojen kokonaismäärä ja lukumäärä hehtaaria kohti esitetään taulukoissa 19—21.

Rinnankorkeusläpimitaltaan vähintään 19,5 cm olevien tukkipuiden määrä 5. ja 6. inventoinnin tulosten mukaan esitetään seuraavassa asetelmassa.

		Mänty	Kuusi	Lehtipuu	Yhteensä
		Milj. kpl			
Etelä-Suomi	5. inventointi	528	476	81	1 085
»	6. »	617	599	122	1 338
Pohjois-Suomi	5. inventointi	282	110	5	397
»	6. »	318	132	9	459
Koko maa	5. inventointi	810	586	86	1 482
»	6. »	935	731	131	1 797

Tukkirunkojen lukumäärän arvio on lisääntynyt suhteellisesti enemmän kuin järeän puuston määrä. Tämä merkitsee osaksi sitä, että puusto on laadullisesti parantunut. Osaksi tukkipuiden lukumäärän suureneminen johtuu laatumääritysten muuttumisesta. Tämä koskee erityisesti lehtipuita. Toisaalta on kuitenkin otettava huomioon, että kaikkea kuusen lahovikaisuutta ei todennäköisesti ole voitu havaita lähinnä Etelä-Suomen rannikkomaakunnissa, ja että järeässä koivussa sen korkean iän vuoksi lahovikaisuus on ilmeisestikin lisääntymässä.

Taulukko 19. Tukkirunkojen lukumäärä metsämaalla.
Table 19. Number of saw timber stems on forest land.

Puulaji *Tree species*	1 cm:n rinnankorkeusläpimittaluokkien ryhmät *Groups of 1 cm DBH-classes*				Yhteensä *Total*
	17—19	20—24	25—29	30+	
	milj. runkoa — *mill. stems*				
	Etelä-Suomi — *South Finland*				
Mänty — Pine	68	298	201	118	685
Kuusi — *Spruce*	65	325	179	95	664
Lehtipuut — *Dec.sp.*	4	66	39	17	126
Yhteensä — *Total*	137	689	419	230	1 475
	Pohjois-Suomi — *North Finland*				
Mänty — Pine	25	152	97	69	343
Kuusi — *Spruce*	7	72	38	22	139
Lehtipuut — *Dec.sp.*	·	5	3	1	9
Yhteensä — *Total*	32	229	138	92	491
	Koko maa — *Whole country*				
Mänty — *Pine*	93	450	298	187	1 028
Kuusi — *Spruce*	72	397	217	117	803
Lehtipuut — *Dec.sp.*	4	71	42	18	135
Yhteensä — *Total*	169	918	557	322	1 966

Taulukko 20. Tukkirunkojen kuutiomäärän jakaantuminen 1 cm:n rinnankorkeusläpimittaluokkien ryhmiin metsämaalla.

Table 20. Volume, over bark, of saw timber stems by groups of 1 cm DBH-classes on forest land.

Puulaji *Tree species*	1 cm:n rinnankorkeusläpimittaluokkien ryhmät *Groups of 1 cm DBH-classes*						Yhteensä *Total*	
	17—19	20—24	25—29	30—34	35—39	40+		
	% kuutiomäärästä — % *of volume*							milj. m³ *mill. m³*
	Etelä-Suomi — *South Finland*							
Mänty — *Pine*	4,6	30,1	33,3	21,0	8,2	2,8	100,0	303
Kuusi — *Spruce*	4,9	34,9	31,7	17,8	7,3	3,4	100,0	289
Lehtipuut — *Dec. sp.*	1,8	38,9	34,9	16,3	5,7	2,4	100,0	57
Yhteensä — *Total*	4,5	33,0	32,7	19,2	7,6	3,0	100,0	649
	Pohjois-Suomi — *North Finland*							
Mänty — *Pine*	3,3	29,5	29,7	20,1	10,4	7,0	100,0	144
Kuusi — *Spruce*	2,9	37,6	30,0	17,0	7,9	4,6	100,0	50
Lehtipuut — *Dec. sp.*	1,0	41,3	29,4	13,9	10,2	4,2	100,0	4
Yhteensä — *Total*	3,2	31,7	29,8	19,2	9,8	6,3	100,0	198
	Koko maa — *Whole country*							
Mänty — *Pine*	4,2	29,9	32,1	20,7	8,9	4,2	100,0	447
Kuusi — *Spruce*	4,6	35,3	31,4	17,7	7,4	3,6	100,0	339
Lehtipuut — *Dec. sp.*	1,7	39,0	34,6	16,2	5,9	2,6	100,0	61
Yhteensä — *Total*	4,2	32,7	32,0	19,2	8,1	3,8	100,0	847

Taulukko 21. Tukkirunkojen lukumäärä metsämaalla.

Table 21. Number of saw timber stems on forest land.

Pienin rinnankorkeus-läpimitta *Minimum DBH* cm	Mänty — *Pine*		Kuusi — *Spruce*		Lehtip. — *Dec. sp.*		Yhteensä — *Total*	
	milj. kpl *mill. stems*	kpl/ha *stems/ha*	milj. kpl *mill. stems*	kpl/ha *stems/ha*	milj. kpl *mill. stems*	kpl/ha *stems/ha*	milj. kpl *mill. stems*	kpl/ha *stems/ha*
	Etelä-Suomi — *South Finland*							
19,5	617	54	599	53	122	11	1 338	118
16,5	685	61	664	59	126	11	1 475	131
	Pohjois-Suomi — *North Finland*							
19,5	318	38	132	16	9	1	459	55
16,5	343	41	139	16	9	1	491	58
	Koko maa — *Whole country*							
19,5	935	47	731	37	131	7	1 797	91
16,5	1 028	52	803	41	135	7	1 966	100

Tukkipuurunkojen kuutiomäärän arvio on 847 milj. m³ eli 56 % kokonaiskuutiomäärästä.

Saha- ja vaneritukkiosuus kokonaiskuutiomäärästä esitetään seuraavassa asetelmassa:

	Mänty	Kuusi	Lehtipuu	Yhteensä
	Prosenttia kuutiomäärästä			
Etelä-Suomi	56	47	20	46
Pohjois-Suomi	45	31	2	34
Koko maa	52	43	14	42

KASVU, SUUNNITE JA METSÄTASE

Kasvu

Kuorellisen runkopuun kasvusta ja sen alueellisesta jakaantumisesta 6. inventoinnin tulosten perusteella on erillinen julkaisu (K u u s e l a 1977 a). 5. ja 6. inventoinnin tulosten mukaiset kasvun arviot, joista 5. inventoinnin tulos on korjattu vastaamaan käyttöön otettua pystypuiden kuutioimisen menetelmää, esitetään taulukossa 22, 6. inventoinnin tulosten mukaisen kasvun arvio eri omistajien metsissä taulukossa 23 ja kasvun arvioiden kehittyminen tasoitettuna aikasarjassa kuvassa 10.

Kasvun arvion suureneminen on ollut hyvin vähäistä. Syitä tähän ovat puuston vanhenemisesta ja osittaisesta yli-ikäistymisestä johtuva vanhojen metsiköiden pieni kasvuprosentti ja laaja-alaisten nuorien metsiköiden toistaiseksi vielä pieni kasvu pinta-alayksikköä kohti. Taimikoiden varttuessa suurenee niiden kasvu.

Viimeisten 20 vuoden aikana suoritetun metsänparannustyön merkitys on siinä, että voimakkaat hakkuut ja puuston vanheneminen ei ole johtanut kasvun pienene-

Taulukko 22. Kuorellisen runkopuun kasvu vuotta kohti 5. ja 6. inventoinnin tulosten mukaan.
Table 22. Increment of stem wood, over bark, per annum according to the results of the 5th and 6th inventory.

Alue *Area*	Aika *Time*	Yksikkö *Unit*	Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Koivu *Birch*	Haapa *Aspen*	Leppä *Alder*	Yht. *Total*
Etelä-Suomi — *South Finland*	1964—68	milj.m³ *mill.m³*	14,60	21,14	8,07	0,58	0,96	45,35
Pohjois-Suomi — *North Finland*	1969—70	»	6,13	3,24	2,19	0,19	0,05	11,80
Koko maa — *Whole country*	1964—70	»	20,73	24,38	10,26	0,77	1,01	57,15
Etelä-Suomi — *South Finland*	1964—68	%	32,2	46,6	17,8	1,3	2,1	100,0
Pohjois-Suomi — *North Finland*	1969—70	»	52,1	27,4	18,5	1,6	0,4	100,0
Koko maa — *Whole country*	1964—70	»	36,2	42,7	18,0	1,3	1,8	100,0
Etelä-Suomi — *South Finland*	1971—74	milj.m³ *mill.m³*	15,51	20,42	7,60	0,57	1,33	45,43
Pohjois-Suomi — *North Finland*	1975—76	»	6,73	2,61	2,40	0,15	0,11	12,00
Koko maa — *Whole country*	1971—76	»	22,24	23,03	10,00	0,72	1,44	57,43
Etelä-Suomi — *South Finland*	1971—74	%	34,1	45,0	16,7	1,3	2,9	100,0
Pohjois-Suomi — *North Finland*	1975—76	»	56,1	21,7	20,0	1,3	0,9	100,0
Koko maa — *Whole country*	1971—76	»	38,7	40,1	17,4	1,3	2,5	100,0

Taulukko 23. Kuorellisen runkopuun kasvu omistajittain.
Table 23. Increment of stem wood, over bark, by ownership categories.

Puulaji *Tree species*	Yksityinen *Private*	Osakeyhtiö *Company*	Valtio *State*	Muut *Others*	Yhteensä *Total*
	% kasvusta — % *of increment*				milj. m³ *mill. m³* %
	Etelä-Suomi — *South Finland*				
Mänty — *Pine*	32,1	43,8	46,5	41,2	15,51
Kuusi — *Spruce*	46,4	39,6	35,7	37,9	20,42
Lehtipuut — *Dec.sp.*	21,5	16,6	17,8	20,9	9,50
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	45,43
	Pohjois-Suomi — *North Finland*				
Mänty — Pine	51,4	56,9	61,5	62,7	6,73
Kuusi — *Spruce*	22,8	26,2	19,9	20,3	2,61
Lehtipuut — *Dec.sp.*	25,8	16,9	18,6	17,0	2,66
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	12,00
	Koko maa — *Whole country*				
Mänty — Pine	34,8	45,7	56,7	46,5	22,24
Kuusi — *Spruce*	43,0	37,7	24,9	33,6	23,03
Lehtipuut — *Dec.sp.*	22,2	16,6	18,4	19,9	12,16
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	57,43
	Etelä-Suomi — *South Finland*				
Mänty — *Pine*	77,9	10,9	6,4	4,8	100,0
Kuusi — *Spruce*	85,4	7,5	3,7	3,4	100,0
Lehtipuut — *Dec.sp.*	85,3	6,7	4,0	4,0	100,0
Yhteensä — *Total*	82,8	8,5	4,7	4,0	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*				
Mänty — *Pine*	47,2	5,5	41,8	5,5	100,0
Kuusi — *Spruce*	54,0	6,5	34,9	4,6	100,0
Lehtipuut — *Dec.sp.*	60,1	4,1	32,0	3,8	100,0
Yhteensä — *Total*	51,6	5,4	38,1	4,9	100,0
	Koko maa — *Whole country*				
Mänty — Pine	68,6	9,3	17,1	5,0	100,0
Kuusi — *Spruce*	81,8	7,4	7,3	3,5	100,0
Lehtipuut — *Dec.sp.*	79,8	6,2	10,1	3,9	100,0
Yhteensä — *Total*	76,3	7,8	11,7	4,2	100,0

miseen, mikä esim. metsätalouden suunnittelukomitealle tehtyjen hakkuulaskelmien mukaan olisi pitänyt tapahtua 10—20 vuoden aikana suurten hakkuiden ja vanhojen metsiköiden uudistamisen alettua (Heikurainen ym. 1960). Ellei metsänparannusta olisi tehty ollenkaan ja mikäli puun käyttö olisi ollut tapahtuneen suuruista, olisi metsien kasvu noin 5 milj. m³ vuotta kohti pienempi kuin se on nyt, ja puuston kuutiomäärä olisi nykyistä pienempi.

Tärkeimpiä kasvun arvioiden perusteella mahdollisia havaintoja on männyn kasvun suureneminen ja kuusen kasvun pieneneminen 5. ja 6. inventoinnin aikana. Osaksi tätä selittää kasvuindeksin vaihtelu (Tiihonen 1977 b). 6. inventoinnin

kasvunmittausjakson aikana männyn kasvu on ollut keskimääräisen tasonsa yläpuolella, kun taas kuusen kasvu on ollut keskimääräisen tasonsa alapuolella.

Männyn kasvun suurenemista on aiheuttanut myös laaja-alaisten nuorten männiköiden suureneva kasvu. Tämä koskee myös Pohjois-Suomea, vaikka taimikot ovat siellä vielä suhteellisen pieniä. Kuusta on sen sijaan uudistettu paljon vähemmän kuin mäntyä, mikä on johtanut kuusipuuston vanhenemiseen ja sen kasvuprosentin pienenemiseen. Erityisesti Pohjois-Suomessa on mäntyä suosiva puulajisuhteiden kehittäminen johtanut tilanteeseen, jossa kuusen osuus sekä kuutiomäärässä että kasvussa pienenee voimakkaasti.

Merkittävää on myös, että lehtipuiden kasvun arvion pieneneminen on miltei pysähtynyt Etelä-Suomessa, ja että se on suurentunut Pohjois-Suomessa. Syynä tähän on biologisesti vahvojen lehtipuiden taimettuminen uudistusaloille, ojitetuille turvemaille ja maataloudelta vapautuville maille.

Kasvun arviota ei ole korjattu ilmastoindekseillä. Kasvun ja poistuman vertailulle perustuvia metsätaseita varten tämä ei ole tarpeellistakaan, sillä mitattu kasvu on arvio metsässä tapahtuneesta runkopuun lisäyksestä. On myös otettava huomioon, että 5. inventoinnin alusta lähtien kasvua on mitattu joka vuosi 5 vuotta ajassa taaksepäin ulottuvina jaksoina. Tämä merkitsee sitä, että esim. 5. ja 6. inventoinnin kasvun arvioiden keskiarvo perustuu vuosia 1959—1976 kattaville mittauksille, joiden tuloksissa on tasoitettu 18 vuoden pituisen ajan ilmaston vaihtelut.

Kasvuprosentit ovat 5. ja 6. inventoinnin tulosten perusteella:

		Mänty	Kuusi	Lehtipuu	Yhteensä
Etelä-Suomi	5. inventointi	3,6	5,0	4,9	4,4
»	6. »	3,6	4,7	5,1	4,3
Pohjois-Suomi	5. inventointi	2,4	2,5	2,9	2,5
»	6. »	2,6	2,2	3,1	2,6
Koko maa	5. inventointi	3,2	4,4	4,3	3,8
»	6. »	3,2	4,1	4,6	3,8

Puuston pääosien vanhenemisesta ja kuutiomäärän suurenemisesta huolimatta kasvuprosentti on säilynyt entisen suuruisena. Tämän on kuitenkin aiheuttanut lehtipuiden ja Pohjois-Suomessa myös männyn kasvuprosentin suureneminen.

Keskikasvu metsämaalla piirimetsälautakuntien alueilla esitetään kuvassa 10. Keskikasvu on yleensä suurentunut 5. inventoinnin jälkeen lukuunottamatta niitä alueita, missä vanhoja metsiköitä on uudistettu voimakkaasti ja missä metsämaan pinta-ala on lisääntynyt suhteellisesti eniten.

Verrattaessa 5. ja 6. inventoinnin tulosten mukaisia vuotuisen kasvun arvioita eri omistajien metsissä toisiinsa saadaan seuraava asetelma kasvun arvioiden muutoksista:

	Yksityinen	Osakeyhtiö	Valtio	Muut	Yhteensä
Muutos, milj. m^3	—0,73	+0,89	—0,40	+0,52	+0,28

Kasvun muutosten suhteellisen merkityksen arvioimiseksi on tarpeen esittää metsämaan, puuston kuutiomäärän ja kasvun suhteelliset muutokset 5. ja 6. inventoinnin välisenä aikana samana asetelmana:

	Yksityinen	Osakeyhtiö	Valtio	Muut	Yhteensä
Metsämaan alan muutosprosentti	+3,3	+13,4	+7,1	+18,7	+5,5
Puuston kuutiomäärän muutosprosentti	+1,3	+17,1	—3,9	+18,8	+1,9
Kasvun muutosprosentti	—1,6	+24,6	—5,6	+27,5	+0,5

Kun otetaan huomioon metsämaan pinta-alan ja puuston kuutiomäärän arvioiden muutosten vaikutus, niin kasvun arvio on pienentynyt suhteellisesti likimain yhtä paljon yksityisten ja valtion metsissä sekä suurentunut selvästi osakeyhtiöiden, kuntien, seurakuntien ja yhteisöjen metsissä. Todennäköiset pääsyyt muutoksiin ovat:

— Yksityismetsien puusto on vanhentunut ja kasvuprosentti pienentynyt. Yksityismetsissä on myös paljon kuusta ja kuusen kasvuprosentti on pienentynyt suhteessa männyn kasvuprosenttiin.

— Valtion metsien kasvuprosenttia pienentää puuston kuutiomäärän painottuminen yli-ikäisiin metsiin ja uusien nuorien metsiköiden toistaiseksi pienet keskikuutio ja keskikasvu.

— Osakeyhtiöiden ja muista omistajista ainakin yhteisöjen metsissä on harjoitettu keskimääräistä voimaperäisempää metsänparannusta ja parempaa metsänhoitoa.

Kasvu jakaantuu omistajittain 5. ja 6. inventoinnin tuloksissa (vrt. kuva 20):

	Yksityinen	Osakeyhtiö	Valtio	Muut	Yhteensä
	Prosenttia kokonaiskasvusta				
5. inventointi	77,9	6,4	12,4	3,3	100,0
6. »	76,3	7,8	11,7	4,4	100,0

Yhdenmukaisesti jo aiemmin todetun kanssa, yksityismetsien osuus kasvusta on muuttunut pieneneväksi, valtion metsien osuuden pieneneminen jatkuu ja osakeyhtiöiden sekä muiden omistajien osuus on alkanut suureta.

Suunnite

Suunnite on arvio suurimmasta kestävästä runkopuun vuotuisesta poistumasta, joka voidaan ottaa metsästä tulevaisuudessa. Sen määrä on riippuvainen puuston määrästä, rakenteesta ja kasvusta sekä puuntuotannon panoksista. Kestävyydellä tarkoitetaan sitä, että suunnitteen mukaisen puumäärän hakkaaminen ei johda puuston pienenemisen vuoksi hakkuumäärän pienentämiseen.

Suunnite esitetään taulukossa 24, omistajittain taulukossa 25 ja suunnite sekä sen puutavaralajirakenne liitetaulukossa 18.

Taulukko 24. Suurin kestävä suunnite kuorellista runkopuuta vuotta kohti.
Table 24. Greatest allowable drain of stem wood, over bark, on sustained yield basis per annum.

1960				1970				1977			
Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Lehtip. *Dec.sp.*	Yht. *Total*	Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Lehtip. *Dec.sp.*	Yht. *Total*	Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Lehtip. *Dec.sp.*	Yht. *Total*
milj.m³ ja % — *mill.m³ and %*											
Etelä-Suomi — *South Finland*											
13,64	14,71	13,03	41,38	13,84	19,95	13,14	46,93	14,89	20,21	12,17	47,27
33,0	35,5	31,5	100,0	29,5	42,5	28,0	100,0	31,5	42,8	25,7	100,0
Pohjois-Suomi — *North Finland*											
6,71	4,76	3,49	14,96	5,88	4,00	3,02	12,90	6,03	3,40	3,41	12,84
44,9	31,8	23,3	100,0	45,6	31,0	23,4	100,0	47,0	26,5	26,5	100,0
Koko maa — *Whole country*											
20,35	19,47	16,52	56,34	19,72	23,95	16,16	59,83	20,92	23,61	15,58	60,11
36,1	34,6	29,3	100,0	33,0	40,0	27,0	100,0	34,8	39,3	25,9	100,0

Suunnitteeseen sisältyy suositus parantaa puustoa. Puulajisuhteita tulisi kehittää uudistamalla karujen maiden kuusikoita ja lehtipuumetsiköitä männiköiksi ja vähentämällä vähäarvoista lehtipuustoa. Tämä ilmenee seuraavasta asetelmasta, jossa puulajeittaista suunnitetta verrataan kasvuun:

	Mänty	Kuusi	Lehtipuu	Yhteensä
	Suunnite, kun kasvu on 100			
Etelä-Suomi	96	99	128	104
Pohjois-Suomi	90	130	128	107
Koko maa	94	103	128	105

Suunnitteen toteuttaminen johtaisi männyn osuuden lisääntymiseen ja lehtipuiden osuuden voimakkaaseen pienenemiseen.

Suunnite voi olla kasvua suurempi kestävyyden vaarantumatta sen vuoksi, että metsässä on vanhan ja hidaskasvuisen puuston kasaantuma ja metsänparannuksen panokset suurentavat kasvua. Nuorten ja keski-ikäisten metsiköiden osuuden lisääntyessä saavutetaan 1980-luvulla vaihe, jossa kestävä suunnite on kasvua pienempi.

Metsätalouden edistämisen periaatetta vastaten suunnite suurenee tulevaisuudessa siihen asti kunnes saavutetaan tavoitemetsän kasvu ja poistuma. Tavoitemetsän kasvu on riippuvainen puuntuotannon käytettävissä olevasta maapinta-alasta, tuotannon panoksista ja metsänhoidon laadusta. Seuraavassa asetelmassa on likimääräinen arvio suurimmasta kestävästä suunnitteesta ja tavoitemetsän suunnitteesta olettaen, että puuntuotannon voimaperäisyys säilyy 1970-luvun alkupuoliskolla saavutetulla tasolla.

	1977	1980	1990	2000	Tavoite-metsä
	Prosenttia kokonaissuunnitteesta				
Suunnite, milj. m³/v	60,1	60,8	62,9	65,9	78

Taulukko 25. Suurin kestävä suunnite kuorellista runkopuuta vuotta kohti omistajittain.
Table 25. Greatest allowable drain of stem wood, over bark, on sustained yield basis per annum by ownership categories.

Puulaji *Tree species*	Yksityinen *Private*	Osakeyhtiö *Company*	Valtio *State*	Muut *Others*	Yhteensä *Total*
	% poistumasta — % *of drain*				milj.m³ *mill.m³* %
	Etelä-Suomi — *South Finland*				
Mänty — Pine	29,6	40,9	43,4	38,1	14,89
Kuusi — *Spruce*	44,0	38,4	34,2	36,0	20,21
Lehtipuut — *Dec.sp.*	26,4	20,7	22,4	25,9	12,17
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	47,27
	Pohjois-Suomi — *North Finland*				
Mänty — *Pine*	45,3	44,8	48,4	55,6	6,03
Kuusi — *Spruce*	26,2	34,3	26,0	25,4	3,40
Lehtipuut — *Dec.sp.*	28,5	20,9	25,6	19,0	3,41
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	12,84
	Koko maa — *Whole country*				
Mänty — *Pine*	31,9	41,5	46,8	42,5	20,92
Kuusi — *Spruce*	41,4	37,8	28,6	33,3	23,61
Lehtipuut — *Dec.sp.*	26,7	20,7	24,6	24,2	15,58
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	60,11
	Etelä-Suomi — *South Finland*				
Mänty — Pine	77,9	10,9	6,4	4,8	100,0
Kuusi — *Spruce*	85,4	7,5	3,7	3,4	100,0
Lehtipuut — *Dec.sp.*	85,2	6,8	4,0	4,0	100,0
Yhteensä — *Total*	83,0	8,4	4,6	4,0	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*				
Mänty — Pine	50,9	5,0	38,3	5,8	100,0
Kuusi — *Spruce*	52,0	6,8	36,5	4,7	100,0
Lehtipuut — *Dec.sp.*	56,6	4,1	35,8	3,5	100,0
Yhteensä — *Total*	52,7	5,2	37,2	4,9	100,0
	Koko maa — *Whole country*				
Mänty — *Pine*	70,1	9,2	15,6	5,1	100,0
Kuusi — *Spruce*	80,6	7,4	8,4	3,6	100,0
Lehtipuut — *Dec.sp.*	78,9	6,2	11,0	3,9	100,0
Yhteensä — *Total*	76,5	7,7	11,6	4,2	100,0

Tehostetulla, mutta käytännössä hyvin mahdollisella metsänhoidolla voitaisiin ylläpitää tavoitemetsää, jossa kasvun ja poistuman suuruus on noin 100 milj. m³/v (K u u s e l a 1974, s. 57).

Suunnite jakaantuu omistajittain 5. ja 6. inventoinnin tulosten mukaan

	Yksityinen	Osakeyhtiö	Valtio	Muut	Yhteensä
	Prosenttia kokonaissuunnitteesta				
5. inventointi	78,1	6,1	12,5	3,3	100,0
6. »	76,5	7,7	11,6	4,2	100,0

Suunnitteen suhteellisten osuuksien muutokset johtuvat kuutiomäärän ja kasvun edellä tarkastelluista muutoksista.

Kun suunnitteesta eli poistumasuunnitteesta vähennetään suojeluvähennys ja luonnonpoistuma, saadaan hakkuusuunnite. Suojeluvähennys on suuruusluokka-arvio siitä puumäärästä, jota ei voida korjata, koska alue on luonnonsuojelun vuoksi hakkuutoiminnan ulkopuolella. Jos ko. alueet jäävät pysyvästi puuntuotannon ulkopuolelle, muuttuu suojeluvähennys ennemmin tai myöhemmin luonnonpoistumaksi.

Metsätähde käsittää ne rungot ja rungon osat, joista ei valmisteta puutavaraa ja jotka metsänhoitotöiden ja hakkuiden yhteydessä jäävät metsään ja lahoavat siellä. Kun hakkuusuunnitteesta vähennetään metsätähde, saadaan kertymäsuunnite, joka jakaantuu tukkiin ja kuitupuuhun.

Tukin ja kuitupuun raja ei ole yksikäsitteinen. Sahatavaran ja vanerin menekistä ja hinnan vaihtelusta riippuen tukin laatuvaatimuksia kiristetään ja löysätään. Koska teollisuuden kuitupuun tarve on suurempi kuin mitä kuitupuuta on hakkuumahdollisuuksissa, pyrkivät ainakin suurimmat puunjalostusyritykset kiristämään tukin laatuvaatimuksia välttyäkseen ostamasta tukkia tukin hinnalla kuitupuuksi. Toisaalta taas pelkästään sahausta harjoittavat yritykset voivat maksaa ns. pikkutukistakin selvästi korkeamman hinnan kuin kuitupuusta maksetaan.

Näistä syistä johtuen arvioitiin tukkiosuus kahdella raja-arvolla 5. inventoinnin tuloksissa (K u u s e l a 1972, s. 61). Nämä arviot ja 6. inventoinnin suunnitteen tukkiosuus ovat:

	1970	1977
	Tukkipuuprosentti	
Mänty	47—53	52
Kuusi	35—46	45
Lehtipuu	11—14	16
Yhteensä	32—40	40

Kuusitukin osalta on syytä todeta, että kuusen kaikkia lahovikoja ei ole todennäköisesti onnistuttu arvioimaan inventoinnissa, mistä syystä sen tukkiosuus voi olla yliarvio.

Metsävarojen tehokasta hyödyntämistä ja kehittämistä selvittävien tutkimusten tulosten mukaan tukkiosuus voi olla ja sen ehkä tulisi olla selvästi suurempi kuin 6. inventoinnin suunnitteessa (K i l k k i ym. 1977). Puuston liiallisen vanhenemisen estäminen edellyttää uudistamishakkuiden lisäämistä tähänastisesta ja jos niin tehdään, suurenee tukkiosuus poistumassa. Jos taas tukkiosuus on hakkuissa enintään yhtä suuri kuin suunnitteessa, lisääntyvät tukkivarat ja tukin osuutta voidaan suurentaa kauempana tulevaisuudessa. Toisaalta vanhimpien kuusi- ja koivutukkimetsiköiden uudistamista ei pitäisi lykätä, sillä niissä voi lahovikaisuuden lisääntyminen vähentää puusadon arvoa enemmän kuin kasvu sitä lisää. Metsävaroja tehokkaasti hyödynnettäessä tukkiosuus voi nousta aina 45—50 %:iin poistumasta 1980- ja 1990-luvulla.

Suunnitteen suhteellinen tukkiosuus suurenee aina 1990-luvulle asti, jolloin nuorten metsien lisääntyvä harvennuspuu alkaa lisätä osuuttaan merkittävästi.

Metsätase ja sen luotettavuus

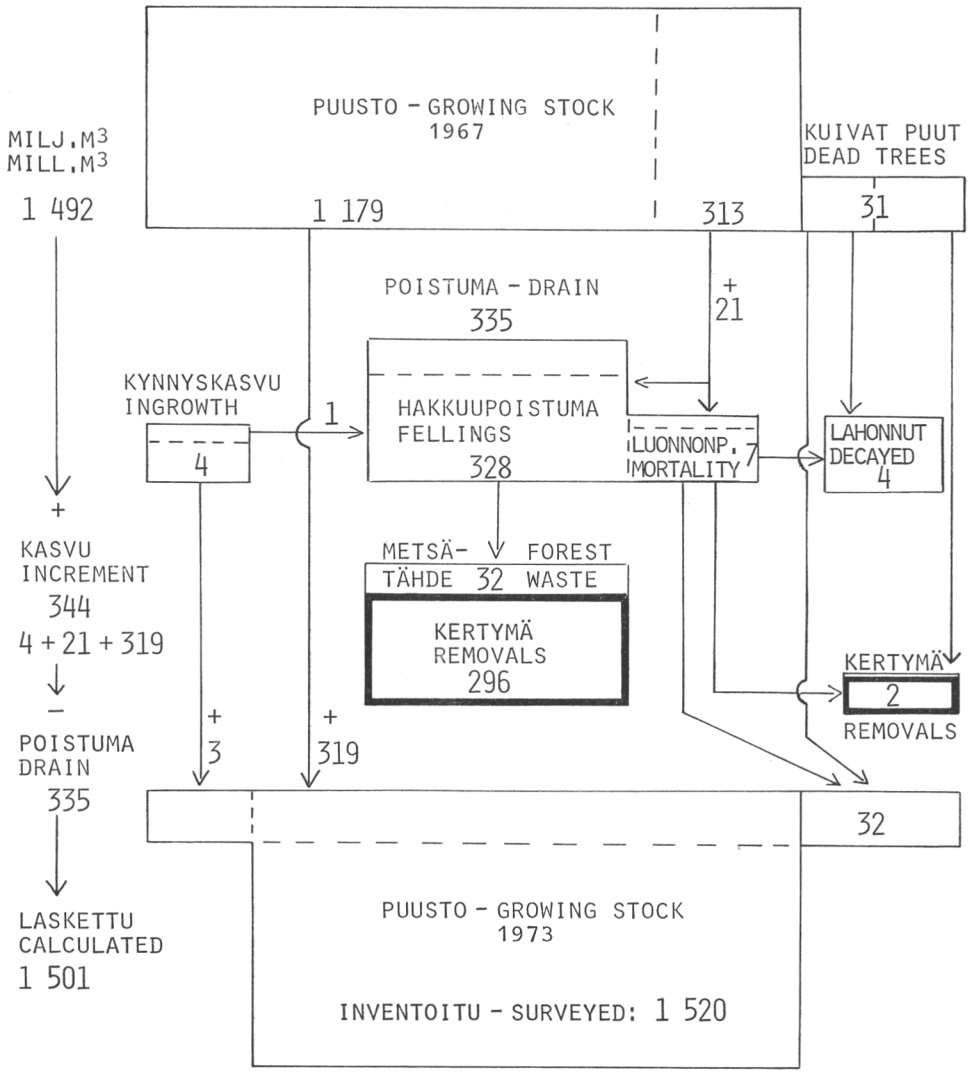
Metsätaseessa verrataan toisiinsa puuston kuutiomäärää eri ajankohtina ja kasvua sekä poistumaa näiden ajankohtien välillä, so. tasejaksojen aikana (taulukko 26). Koska tasejakson alussa olevan puuston kuutiomäärän ja kasvun summan sekä sen ja poistuman erotuksen tulisi olla yhtä suuri kuin inventoinnin tuloksena saatu puuston kuutiomäärä jakson lopussa, voidaan tällä vertailulla tarkistaa taseen tietojen luotettavuutta. Vertailu on seuraavassa asetelmassa:

		Mänty	Kuusi	Lehtipuu	Yhteensä
Puuston kuutiomäärä 1967					
5. inventoinnin tulos	milj.m³	654,8	555,0	281,7	1 491,5
Kasvu 1967—1972	»	131,9	139,6	72,8	344,3
Poistuma »	»	116,1	114,7	103,7	334,5
Puuston kuutiomäärä 1973					
— Laskettu	»	670,6	579,9	250,8	1 501,3
— 6. inventoinnin tulos	»	685,6	567,6	266,3	1 519,5
Lasketun ero inventoidusta ...	%	—2,2	+2,2	—7,8	—1,2

Inventointien tulokset ja poistuman arviot (Huttunen 1976) ovat toisistaan riippumattomien tutkimusten tuloksia. Jos inventointien tuloksena saadut puuston kuutiomäärän arviot sekä poistuman arviot ovat virheettömiä, niin — merkkinen eroprosentti merkitsee, että kasvun arvio on liian pieni.

Taulukko 26. Metsätaseen osien arviot aikajaksona 1964—1976.
Table 26. Estimates for forest balance for the period 1964—1976.

Tunnus *Characteristic*	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
	milj.m³ kuorineen — *mill.m³ over bark*												
	Etelä-Suomi — *South Finland*												
Puusto — *Growing stock*			1 025						1 058				
Kasvu — *Increment* .			45,4						45,4				
Poistuma — *Drain* ..	44,2	42,8	41,7	41,3	40,9	43,6	44,4	41,4	41,6	43,3	38,9	29,8	
	Pohjois-Suomi — *North Finland*												
Puusto — *Growing stock*							467						462
Kasvu — *Increment* .							11,8						12,0
Poistuma — *Drain* ..	13,8	13,1	12,6	13,1	13,2	13,9	14,3	13,6	13,2	11,7	13,1	10,1	
	Koko maa — *Whole country*												
Puusto — *Growing stock*				1 492						1 520			
Kasvu — *Increment* .				57,2						57,4			
Poistuma — *Drain* ..	58,0	55,9	54,3	54,4	54,1	57,5	58,7	55,0	54,8	55,0	52,0	39,9	41,9
Puun tuonti — *Imports of timber* ...	2,3	3,4	3,0	3,0	3,1	2,9	3,3	3,9	3,4	5,6	6,0	5,8	5,5



Kuva 16. Metsätase 1967—1973.
Fig. 16. Forest balance 1967—1973.

Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että tasejakson alku ja loppu ovat maakunnittain etenevästä inventoinnista johtuen 5. ja 6. inventoinnin keskimääräinen vuosi. Tästä ja vuotuisen poistuman alueellisista suhteellisista eroista johtuu, että metsätaseen eri osat eivät voi muodostaa täsmälleen yhtenäistä kokonaisuutta, vaikka osien arviot olisivat virheettömät.

Kun vielä otetaan huomioon, että inventointien tulokset perustuvat näytteeseen ja että puuston kokonaiskuutiomäärän keskivirhe on $\pm 0{,}7$ %, niin vain lehtipuukuutio-

määrän ero on ilmeisestikin aiheutunut muusta kuin satunnaisvirheestä. Joskin eron on voinut aiheuttaa liian suuri poistuman arvio, niin todennäköisemmän vaihtoehdon mukaan kasvun arvio on liian pieni. Tätä selitystä tukee myös se, että pienikokoinen, osaksi vesasyntyinen lehtipuusto on lisääntynyt 5. ja 6. inventoinnin välisenä aikana ja että kairaukseen perustuvalla kasvun arvioimisen menetelmällä on vaikea arvioida pienikokoisten lehtipuiden kasvua.

Metsätaseen perustiedot (taulukko 26) muodostavat luotettavan kokonaisuuden, varsinkin jos otetaan huomioon tutkimusmäärärahojen suuruus ja metsätaseiden luotettavuus vertauskelpoisissa ulkomaissa.

Taulukossa 26 esitetään myös tuontipuun vuotuinen määrä. Vaikka se ei olekaan metsätaseen osa, sen huomioon ottaminen täydentää kuvaa puunkäytön ja metsävarojen keskinäisestä kehittymisestä.

Pohjoismaisen Metsäunionin asettama metsätaseryhmä selvitti vuosien 1975—1977 aikana metsä- ja puutaseiden käsitteistöä ja valmisti kuvauksen Norjan, Ruotsin ja Suomen metsä- ja puutaseista kesäkuussa 1978 Oslossa pidettävää XIV Pohjoismaista Metsäkongressia varten. Suomen raportissa esitetään 5. ja 6. inventoinnin välisen aikajakson metsätase ja sen erikseen arvioitavat osat (kuva 16).

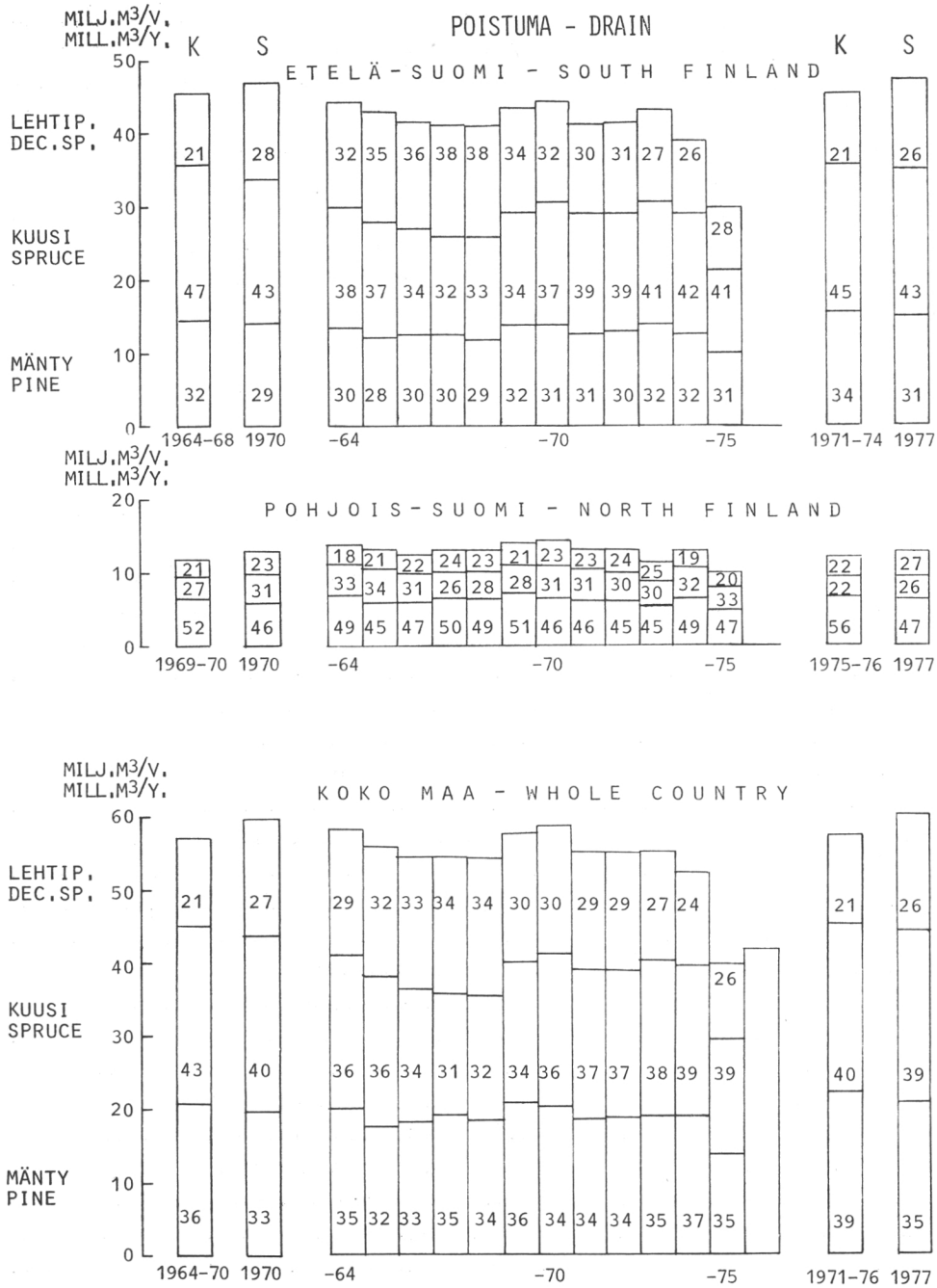
Kuten jo edellä on todettu, poistuma ja sen osat kertymä, metsätähde, hakkuupoistuma ja kertymä kuivasta puustosta ovat puunkäyttötutkimuksen tuloksina saatavia arvioita. Muut metsätaseen osat ovat 5. ja 6. inventoinnin tuloksia.

Kasvun arvio muodostuu siten, että inventoinnin aikana metsässä olevista puista mitataan kenttätyötä edeltäneiden 5 vuoden kasvu. Tämä osa kokonaiskasvusta 6 vuodelle laskettuna on 322 milj. m^3. Mittausjakson aikana metsästä poistuneiden puiden kasvu lasketaan piirimetsälautakuntien alueittain ja puulajeittain siten, että puunkäyttötutkimuksen tuloksista saadaan ko. vuosien poistuma ja että poistuneiden puiden vuotuisen kasvuprosentin edellytetään olevan puulajista riippuen 70—80 % säilyvien puiden kasvuprosentista. Suhde on likimääräinen arvio ja se perustuu tietoihin poistuman ikärakenteesta suhteessa säilyvän puuston ikärakenteeseen. — Poistuvan puuston kasvun arvio tasejakson aikana on 22 milj. m^3.

Taseen arvioista kynnyskasvu, so. niiden puiden kuutiomäärä, jotka tasejakson aikana kasvavat rinnankorkeudelta mitatun pienimmän läpimitan 2,5 cm kokoon, ja luonnonpoistuma ovat suuruusluokka-arvioita. Luonnonpoistuman arvion perusteita ovat tiedot luonnontilaisten metsiköiden poistumasta, yli-ikäisten metsiköiden määrästä, kuivan puuston määrästä ja kuivan puun kertymästä.

Kasvun, poistuman ja suunnitteen toisiinsa vertailu 5. ja 6. inventoinnin välisenä aikana esitetään kuvassa 17.

Koko maan poistuma on vuoden 1961 jälkeen tapahtuneen pienenemisen jälkeen tasoittunut noin 55 milj. m^3:ksi, joka on 2,4 milj. m^3 kasvua ja 5 milj. m^3 suurinta kestävää suunnitetta pienempi. Tästä kehityssuunnasta eroavat kuitenkin vuosien 1975 ja 1976 poikkeuksellisen pienet poistumat. Mikäli ne johtuvat pelkästään lamasta ja metsä- ja puutalouden heikentyneestä kansainvälisestä kilpailukyvystä, eivät ne vaikuta kehityssuuntaan ja poistuma suurenee kilpailukyvyn palauduttua 55 milj. m^3:n



Kuva 17. Kasvun (K), poistuman ja suunnitteen (S) vertailu 5. ja 6. inventoinnin välisenä aikana.
Fig. 17. Balance of increment (K), drain and allowable drain (S) during the period between 5th and 6th inventory.

suuruusluokkaan. Toisaalta on merkkejä, joiden mukaan halukkuus myydä puuta ja metsätyövoiman saatavuus heikkenevät jatkuvasti, mikä pienentäisi poistumaa.

Pohjois-Suomen metsätase suhteessa suunnitteeseen näyttää tasoittuneen 1970-luvulla. Etelä-Suomen poistumassa on havaittavissa suurenemisen merkkejä ennen laman alkamista. Etelä-Suomi on kuitenkin ollut hakkuusäästöaluetta koko 5. ja 6. inventoinnin välisen ajan.

Puulajisuhteiden prosenttiosuuksien kehittyminen poistumassa osoittaa, että poistuman rakenne on lähestynyt hakkuumahdollisuuksien puulajisuhteita. Tältä osalta voitaneen todeta, että suunnite on edistänyt puunkäytön rakenteen kehittämistä vastaamaan metsävarojen rakennetta.

Puuston kuutiomäärän seuranta inventointikierron aikana

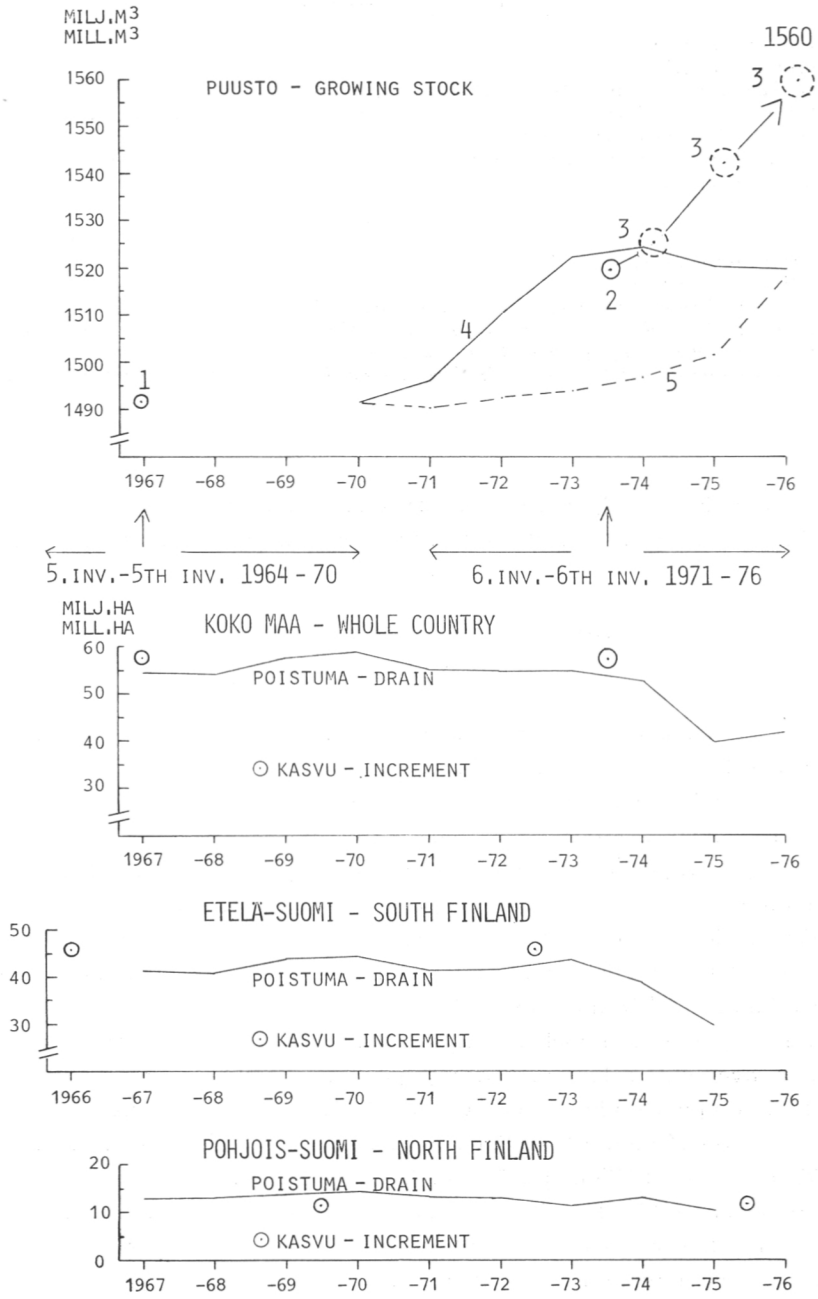
Maakunnittain etenevän inventoinnin heikkoutena on pidetty sitä, että sen antamat tulokset koko maan metsävaroista ovat yhdistelmä eri ajankohtina arvioitujen osa-alueiden tuloksista, ne ovat vanhentuneet ja niiden perusteella ei saa täsmällistä kuvaa esim. puuston kuutiomäärän vuotuisesta kehittymisestä. Tästä syystä on suositeltu inventoinnin suorittamista siten, että jos kierto on esim. 10 vuotta, joka vuosi arvioidaan kymmenesosa koko maata peittävästä näytteestä. Näin menetellen saadaan vuotuinen kuutiomäärän arvio, jonka tilastollinen luotettavuus on tosin selvästi huonompi kuin koko näytteellä saatavan arvion, mutta joka osana vuotuisten arviointien sarjaa antaa luotettavan kuvan kuutiomäärän kehittymisestä.

Osa-alueittain etenevän inventoinnin tulosten ajoittaminen on kuitenkin edellä kuvattu heikkous vain silloin, kun ei tunneta vuotuisen puun poistuman suuruutta. Suomessa, jossa vuotuinen poistuma arvioidaan piirimetsälautakuntien alueittain ja jossa koko maan poistuman arvio on kansainvälisen vertailun perusteella erittäin luotettava, voidaan puuston kuutiomäärän kehittymistä seurata sillä tarkkuudella kuin mikä on tarpeen suunniteltaessa metsävarojen hyödyntämistä.

Puuston kuutiomäärän kehityksen seurantaa havainnollistetaan kuvassa 18. Lähtöpuusto 6. inventoinnin suorituskierrolle on 5. inventoinnin tuloksen mukainen kuutiomäärä 1 491,5 milj. m^3. Tämä on perusteltua sen vuoksi, että vuosina 1964—1970 puuston kasvu oli likimain yhtä suuri kuin poistuma (kuva 17).

Yhtenäinen viiva kuvassa 18 esittää kuutiomäärän kehittymistä, joka on laskettu siten, että kunkin vuoden inventoinnin tulosten tultua lasketuksi korvataan uusilla tuloksilla koko maan puuston kuutiomäärän arviossa vastaavien piirimetsälautakuntien aluetta koskevat edellisen inventoinnin tulokset. Kuutiomäärän kehitystä osoittava murtoviiva on aluksi nouseva ja laskee 6. inventoinnin päättyessä kuutiomäärän arvioksi 1 519,5 milj. m^3.

Toinen menetelmä seurata puuston kuutiomäärän kehittymistä on lisätä alkukuutiomäärään 5. inventoinnin tuloksena saatu vuotuisen kasvun arvio ja vähentää



Kuva 18. Puuston kuutiomäärän seuranta osa-alueiden inventointitulosten ja kasvun sekä poistuman arvioiden perusteella.

Fig. 18. Follow-up the growing stock volume on the basis of regional inventory and increment and drain estimates p. 56.

KUVAN 18 SELITYKSET

1. 5. inventoinnin arvio.
2. 6. inventoinnin arvio.
3. Kasvun ja poistuman erotuksen perusteella laskettu puuston kuutiomäärä.
4. Puuston kuutiomäärä laskettuna siten, että 6. inventoinnissa vuosittain arvioitujen piirimetsälautakuntien alueiden tuloksilla on korvattu 5. inventoinnin tulokset.
5. Puuston kuutiomäärä laskettuna 5. inventoinnin kasvun arvion ja vuotuisen poistuman arvion erotusten perusteella.

FIG. 18, COMMENTS

1. *Estimate of 5th inventory.*
2. *Estimate of 6 th inventory.*
3. *Growing stock volume on the basis of the difference increment minus drain.*
4. *Growing stock volume calculated in such a way that the results of 5th inventory for Forestry Board Districts are replaced annually by the results of the 6th inventory.*
5. *Growing stock volume calculated on the basis of the difference increment by 5th inventory minus annual drain.*

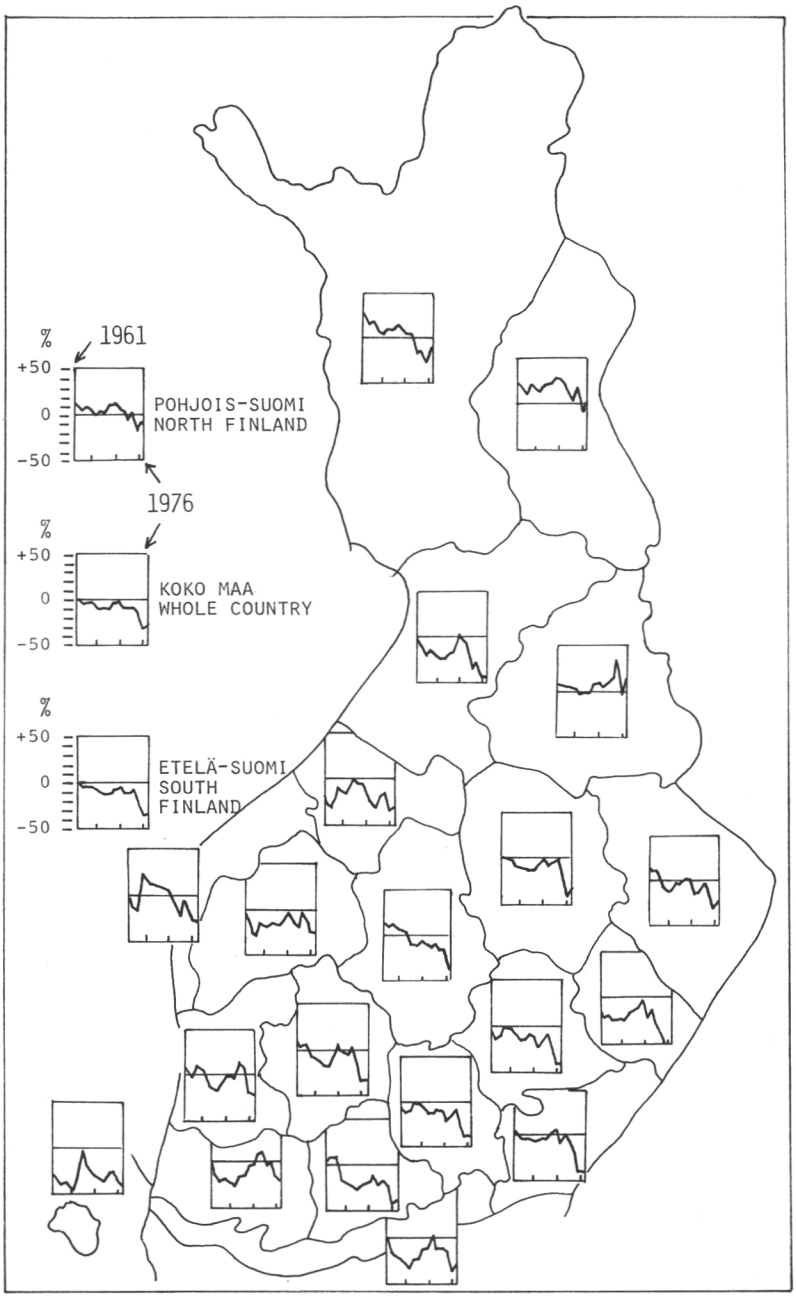
summasta puunkäyttötutkimuksen tuloksena saatava vuotuisen poistuman arvio. 6. inventoinnin päättyessä oli käytettävissä poistuman arvio seuraavilta kuudelta vuodelta:

Vuosi	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Milj. m^3	58,72	54,96	54,83	54,97	52,36	40,13

Tämän seurannan tuloksena saadaan kuutiomäärän kehitys, joka esitetään kuvassa 18 katkoviivalla. Arvio pienenee alussa hieman ja suurenee sen jälkeen likimain samaksi arvioksi kuin mikä on 6. inventoinnin lopullinen tulos.

Kahden laskutavan antaman tuloksen ero johtuu siitä, että inventointi alkaa niissä osissa maata, missä poistuma on ollut kasvua pienempi ja päättyy alueilla, missä poistuma on ollut kasvua suurempi, so. Pohjois-Suomessa (vrt. kuvan 18 alemmat osat ja kuva 17). Todellinen kuutiomäärän kehittyminen on tapahtunut näiden kahden laskutavan antaman tuloksen välissä. Puuston kuutiomäärän seuranta on ollut mahdollista vähintään ± 1 %:n tarkkuudella.

Kuvan 18 yläosassa on vielä esitetty vuosien 1974—1976 kuutiomäärän arvio laskettuna 6. inventoinnin kasvun arvion ja poistuman arvioiden perusteella. Vuoden 1976 lopussa on puuston kuutiomäärän arvio 1 560 milj. m^3. Vuoden 1977 poistuman ennakkoarvio on 44 milj. m^3 ja sitä käyttäen saatu puuston kuutiomäärän arvio vuoden 1977 lopussa on 1 573 milj. m^3. Kun 3. inventoinnin tuloksena saatu kuutiomäärän arvio vuosina 1951—1953 korjattuna uutta kuutioimismenetelmää vastaavaksi on 1 538 milj. m^3, niin voidaan todeta, että puuston kuutiomäärä on vuodesta 1975 lähtien ollut suurempi kuin sen tiedetään koskaan olleen nyky-Suomen pinta-alalla. Pääsyy kuutiomäärän selvään suurenemiseen on viimeisten vuosien aikana ollut pienestä poistumasta johtuneet hakkuusäästöt. Pitkäjänteinen puuston kuutiomäärän suurenemiseen johtanut tekijä on ollut viimeisten 20 vuoden aikana toteutettu metsänparannus.



Kuva 19. Poistuman prosenttiero suunnitteesta piirimetsälautakuntien alueilla.
Fig. 19. Percentage difference of drain from allowable drain in the Forestry Board Districts.

Puuston kuutiomäärän suurenemista on edistänyt myös puun tuonti ulkomailta (taulukko 26 ja kuva 21, s. 69). Tuonti alkoi merkittävästi suureta, kun kotimainen tarjonta ei kyennyt kattamaan suurenevan metsäteollisuuden puun tarvetta. Tuonti nousi ennätysmääriin vuosina 1973 ja 1974. Se oli silloin ilmeisesti välttämätön edellytys teollisuuden tuotantotehon täydelle hyväksi käytölle. Vuosina 1975 ja 1976, jolloin puun tarve pieneni teollisuuden kilpailukyvyn heiketessä ja jalosteiden viennin vähetessä, suurena säilynyt tuonti pienensi osaltaan poistumaa omista metsistä erityisesti itä- ja kaakkoisosissa maata (kuva 19).

Metsätaseen alueellisuus

Metsätaseen alueellinen kehittyminen alkaen vuodesta 1961, jolloin poistuma oli suurimmillaan, esitetään kuvassa 19. Siitä nähdään, kuinka monta prosenttia vuotuinen poistuma on ollut suurempi tai pienempi kuin suunnite piirimetsälautakuntien alueilla.

Poistuma on ollut suunnitetta suurempi Pohjois-Suomessa Pohjois-Pohjanmaata lukuunottamatta aina 1970-luvun alkuun saakka. Etelä-Suomessa on poistuma ollut vuotta 1961 lukuunottamatta pienempi kuin suunnite. Ennen vuonna 1975 alkanutta lamaa ja poistuman pienenemistä metsätase tasoittui Etelä- ja Pohjois-Suomen kesken. Pohjois-Suomessa poistuma 1970-luvun alkaessa oli keskimäärin suunnitteen suuruinen ja läheni suunnitetta Etelä-Suomessa.

6. inventoinnin suoritusaikana poistuma ylitti suunnitteen vain Koillis-Suomessa ja Kainuussa sekä oli selvästi pienempi kuin suunnite Ahvenanmaalla ja Helsingin, Uudenmaan-Hämeen, Itä-Hämeen, Etelä-Savon, Itä-Savon, Keski-Suomen, Etelä-Pohjanmaan ja Keski-Pohjanmaan alueella.

METSIKÖIDEN LAATU JA HAKKUIDEN TOISTUVUUS

Metsiköiden laatu

Metsiköiden laatu metsämaalla omistajittain esitetään taulukossa 27 ja liitetaulukossa 19.

Metsiköiden laadun arvioimisen subjektiivisuudesta huolimatta muutamat päätelmät näyttävät ilmeisiltä:

Osakeyhtiöiden metsien laatu on selvästi muiden omistajien metsien laatua parempi. Hyvien ja tyydyttävien metsiköiden osuus on hieman pienentynyt 5. inventoinnin tuloksiin verrattuna (K u u s e l a 1972, s. 77). Tämä johtuu Pohjois-Suomessa sijaitsevista yhtiöiden metsistä ja siellä yhtiöiden ostamien metsien huonosta laadusta.

Taulukko 27. Metsiköiden laatu metsämaalla omistajittain.
Table 27. Quality of tree stands on forest land by ownership categories.

Metsikön laatu *Quality of tree stand*	Yksityinen *Private*	Osakeyhtiö *Company*	Valtio *State*	Muut *Others*	Yhteensä *Total*
	% alasta — % *of area*				
Hyvä ja tyydyttävä — *Good and satisfactory*	64,4	77,2	61,9	68,7	65,0
Vajaapuustoinen — *Understocked*	11,6	9,5	11,5	11,3	11,4
Hoitamaton — *Silvicultural measure neglected*	6,8	4,0	6,2	6,4	6,4
Yhteensä kehityskelpoiset — *Total capable for development*	82,8	90,7	79,6	86,4	82,8
Vajaatuottoinen — *Low-yielding*	17,2	9,3	20,4	13,6	17,2
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Valtion metsien laatua alentaa eniten yli-ikäisten metsiköiden runsaus varsinkin Pohjois-Suomessa.

Yksityismetsien heikkouksia ovat jätemetsiköt, kasvupaikalle väärää puulajia olevat ja muista syistä vajaatuottoiset metsiköt.

Metsiköiden laatu on parantunut 1950-luvun alusta lähtien. Tämä ilmenee lähinnä hyvien ja tyydyttävien metsiköiden osuuden suurenemisena 41 %:sta 65 %:iin (K u u s e l a 1972, s. 78). Sen sijaan vajaatuottoisten metsiköiden osuus on säilynyt likimain ennallaan.

Ehkä tärkein este vajaatuottoisten metsiköiden uudistamiselle on ollut huonolaatuisen lehtipuun heikko menekki. Maataloudelta vapautuvaa maata on metsittynyt luontaisesti vajaatuottoisiksi metsiköiksi suuria alueita. Lähinnä yksityismetsien omistajista on monilta puuttunut joko halu tai taloudelliset edellytykset parantaa metsiensä puustoa.

Viljellyt metsiköt ja maatalousmaan metsittyminen

Metsiköiden perustamistapaa ja perustamisen onnistumista koskevat tulokset esitetään taulukossa 28 ja liitetaulukossa 20. Viljellyt metsiköt koskevat kutakuinkin kokonaan II maailmansodan jälkeen perustettuja metsiköitä. Niistäkin vanhimpien erottaminen luontaisella siemennyksellä syntyneistä on ollut vaikeata.

Viljeltyjen metsiköiden kokonaispinta-ala on 1 843 000 ha 6. inventoinnin tuloksissa, kun vastaava 5. inventoinnin tulos on 1 200 000 ha. Erotus 643 000 ha on 107 000 ha vuotta kohti. Tilastoitu metsänviljelyn vuotuinen ala on samana aikana ollut noin 130 000 ha vuotta kohti. Erotus johtunee osaksi siitä, että varsinkin vanhaa viljelymetsikköä ei kaikissa tapauksissa kyetä toteamaan sellaiseksi, että viljelypinta-alat kirjataan todennäköisesti jonkin verran liian suurina, ja että luontainen taimettuminen peittää viljelytaimet osalla pinta-alaa.

Taulukko 28. Metsänviljelyn ja maatalousmaan luontainen metsittyminen omistajittain.
Table 28. Artificial establishment of tree stands and natural afforestation of agricultural land by ownership categories.

Metsälön perustamistapa *Stand establishment method*	Yksityinen *Private*	Osakeyhtiö *Company*	Valtio *State*	Muut *Others*	Yhteensä *Total*
	1 000 ha ja % metsämaasta *1 000 ha and % of forest land*				
Metsämaalla — *On forest land*					
Viljely — *Artificial establishment*	913	312	431	75	1 731
	7,2	19,8	9,1	9,1	8,8
Viljely epäonnistunut — *Artificial establishment failed*	31	4	3	2	40
	0,3	0,3	0,1	0,3	0,2
Maatalousmaalla — *On agric. land*					
Viljely — *Artificial establishment*	53	5	5	2	65
	0,4	0,3	0,1	0,2	0,3
Viljely epäonnistunut — *Artificial establishment failed*	6	—	1	·	7
	·	—	·	·	·
Luontainen siemennys — *Natural seeding*	120	2	3	3	128
	1,0	0,1	0,1	0,4	0,7

Metsämaalla todetuista viljelyistä arvioitiin 2,3 % eli 40 000 ha epäonnistuneiksi, mikä tarkoittaa sitä, että niistä ei saada kehityskelpoista metsikköä ilman täydennysviljelyä. Epäonnistuneen viljelyn suhteellinen osuus oli pienin valtion metsissä ja toiseksi pienin osakeyhtiöiden metsissä.

Maatalousmaalla suoritetun metsänviljelyn pinta-alan arvio on 72 000 ha, josta 9,7 % eli 7 000 ha todettiin epäonnistuneen. Inventoinnissa todettu maatalousmaan metsänviljelyn ala on likimain samaa suuruusluokkaa kuin tilastoitu peltojen viljelymetsäkin. Epäonnistumista on tapahtunut selvästi eniten yksityisten omistamissa metsissä.

Maatalouden maan metsittymisessä on pääosuus ollut luontaisella siementymisellä ja vesottumisella. Näin metsittyneen maatalousmaan arvio on 128 000 ha. Yhdessä viljelyn kanssa on maatalousmaata metsittynyt 200 000 ha.

Suhteellisesti on metsänviljelyä suoritettu selvästi eniten osakeyhtiöiden metsissä, so. 20 %:lla metsäalasta. Osuusprosentti on pienin yksityismetsissä eli 8 %.

Hakkuiden toistuvuus

Viimeisestä hakkuusta kulunutta aikaa koskevat arviot esitetään liitetaulukossa 21. Tiivistelmävertailu 5. inventoinnin tulosten kanssa esitetään seuraavassa asetelmassa:

	Hakkuusta kulunut vuosia			
	0—5	6—10	11—30	Yli 30
Osuus-% metsämaasta, 5. inventointi	24,1	21,3	33,4	21,2
» » 6. inventointi	16,5	16,3	46,4	20,8

Hakkuiden välinen aika on selvästi pidentynyt. Suhteellisesti pidentyminen on ollut suurempi Etelä-Suomessa kuin Pohjois-Suomessa.

Hakkuiden välin piteneminen johtuu kasvatushakkuiden vähenemisestä. Johdonmukainen seuraus tästä on, että kuollut ja lahoava puusto on alkanut lisääntyä Etelä-Suomessa. Tämä kehityssuunta ilmeisestikin voimistuu tulevaisuudessa ja kun näin tapahtuu, on siitä seurauksena luonnonpoistuman suureneminen ja metsiköiden laadun heikkeneminen.

Luonnonsuojelualueet mukaan luettuna sellaista metsää, jossa ei ole suoritettu hakkuuta viimeisten 30 vuoden aikana, on 4,1 milj. ha. Alan suhteellinen osuus ei ole pienentynyt merkitsevästi 5. inventoinnin jälkeen.

Yksityismetsissä hakkuut toistuvat lyhyimmin aikavälein. Kuitenkin sellaisen metsän ala, jossa hakkuuta ei ole ollut 30 vuoden aikana, on 13,9 % yksityismetsissä, kun se osakeyhtiöiden metsissä on 9,0 %. Metsämaiden laatu ja ilmastollinen sijainti huomioon ottaen on hakkuiden toistuvuus yhtiöiden metsissä paras tehokkaan metsänhoidon kannalta.

Hakkuiden toistumisen aikaväli on pisin valtion metsissä, mikä on seurausta karuissa kasvuoloissa sijaitsevien metsien ja vanhojen metsiköiden runsaudesta sekä korjuukustannusten pienentämiseen tähtäävästä hakkuiden keskittämisestä.

PÄÄTELMIÄ

Metsätalouden maan ja metsämaan pinta-alan lisääntyminen jatkuu todennäköisesti kuluvan vuosisadan loppuun saakka, joskin hitaampana kuin 1960-luvulla. Tähän vaikuttavia syitä ovat maatalouden maan metsittyminen maataloustuotannon loppuessa elinkelvottomilla pientiloilla, elintarvikeomavaraisuuden ylläpitämiseksi tarpeellisen peltopinta-alan pieneneminen, kitu- ja joutomaan soiden muuttaminen ojittamalla ja lannoittamalla metsämaaksi sekä asutuskeskusten ja liikenneväylien rakentamisen pieneneminen 1950- ja 1960-luvulla tapahtuneeseen rakentamiseen verrattuna.

Tähänastisten kehityssuuntien jatkuminen merkitsee sitä, että metsätalouden maa lisääntyy noin 100 000 ha ja metsämaa noin 400 000 ha 10 vuodessa. Tämän mukaisesti metsämaan pinta-ala olisi vuosisadan lopussa enintään 21 milj. ha. Metsämaan ala jää tätä pienemmäksi, jos peltopinta-alan pieneneminen pysähtyy ja jos soiden uudisojitus vähenee tähänastista nopeammin.

Metsäojituksen osalta tärkein havainto on varsinaisten uudisojitusten voimakas väheneminen ja se, että tämä ei näy läheskään täytenä tilastoiduissa uudisojituspinta-aloissa. Kun tilastoitu uudisojituspinta-ala on noin 250 000 ha/v 5. ja 6. inventoinnin välissä, niin inventointien välisenä 6 vuoden aikana ojitetun turvemaan pinta-ala on lisääntynyt 160 000 ha/v. Ero merkitsee sitä, että uudisojituksissa on tilastoitu eriasteisia täydennysojituksia noin 90 000 ha/v. Havainnolla voinee olla merkitystä metsänparannustukea koskevien säädösten kannalta.

Ojitettujen turvemaiden pinta-ala oli 6. inventoinnin suorituksen aikana 4 076 000 ha ja vuoden 1977 lopulla noin 4,4 milj. ha. Uudisojituksen painopiste on siirtynyt Pohjois-Suomeen, erityisesti Pohjois-Pohjanmaalle.

Metsätalouden tapahtumisen kehityssuunnat viittaavat siihen, että uudisojitus vähenee jatkuvasti, ja että ojitus muuttuu tilastoitujen tietojen antamaa kuvaa nopeammin jo tehtyjen ojitusten täydentämiseksi ja parantamiseksi. Täydennysojitusten ja ojien kunnostamisen tarpeen arvioinnit (vert. piirimetsälautakuntien alueiden tuloksia) osoittavat, että näitä tarvitaan 20—30 %:lla ojitetusta alasta eli runsaalla 1 milj. ha:lla. Näyttää mahdolliselta, että ojitettu ala jää kuluvan vuosisadan lopulla noin 5,5 milj. ha:ksi ja että täydennysojituksista sekä ojien kunnostamisesta tulee lannoituksen ohella tärkein turvemaiden parannuksen työmuoto. Valuntasuhteiltaan ja sademäärän sekä haihdunnan suhteiltaan huonoimmilla alueilla saattaa osa ojitetuista turvemaista palautua suoksi. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat edellä todettujen lisäksi elinkelvottomien pientilojen autioituminen ja hakkuusäästöjen kasaantuminen.

Soiden ja turvemaiden parantamisen tärkein vaikutus on ollut, että sillä on estetty ikärakenteen kehittymisen ja voimakkaan hakkuutoiminnan aiheuttama tilapäinen kasvun pieneneminen. Ilman turvemaiden parantumista, johon kuuluu myös runsaat 2 milj. ha käsittäneiden metsänlannoitusten pääasiallinen suorittaminen turvemailla, metsän vuotuinen kasvu olisi noin 5 milj. m^3 pienempi kuin se on tällä hetkellä. Heikkouksistaan huolimatta turvemaiden parantamisella on saavutettu se metsätaseen tasapainottamisen tavoite, jolla sen lisäämistä perusteltiin 1960-luvun alussa.

Puulajisuhteiden kehityksessä voidaan havaita selvä, erityisesti Pohjois-Suomessa tapahtuva mäntyvaltaisten metsiköiden lisääntyminen. Niiden osuus on 6. inventoinnin tuloksissa 58 % metsämaan alasta ja saavuttanee 60 % 1970-luvulla.

Kuusivaltaisten metsiköiden osuuden lisääntyminen on pysähtymässä ja lehtipuuvaltaisten osuus pienenee tähänastisen kehityssuuntansa mukaan.

Puuston parantaminen edellyttäisi ensisijaisesti vähäarvoisten lehtipuumetsiköiden uudistamista parhailla mailla kuusikoiksi. Samalla tulisi jatkaa karuilla kasvupaikoilla olevien kuusikoiden ja lehtipuumetsiköiden muuttamista männiköiksi. Erityisesti Pohjois-Suomessa on vähäarvoista lehtipuuta kasvavien metsiköiden suhteellinen runsaus metsätalouden tuottoa pienentävä tekijä.

Kuusikoiden ja kuusen osuuden voimakas väheneminen Pohjois-Suomessa on johtamassa tilanteeseen, jossa tulisi erityistutkimuksilla selvittää, mikä on kuusen asema tulevaisuudessa, minkälaisille kasvupaikoille tulisi perustaa kuusikoita ja mitkä ovat metsäteollisuuden rakenteeseen vaikuttavat raaka-ainepohjan muutokset.

Puuston ikärakenteen tasoittuminen on jatkunut Etelä-Suomessa. Keski-ikäisten metsiköiden runsaus on muuttunut uudistuskypsien ja sitä lähestyvien metsiköiden runsaudeksi. Taimikot ja ohjekiertoaikaa vanhemmat metsiköt ovat lisääntyneet. Puuston vanhenemisesta on jo seurauksena lahoamisvahinkoja ja kasvuprosentin pienenemistä. Pohjois-Suomessa on uudistaminen vähentänyt ohjekiertoaikaa vanhempien metsiköiden määrää ja lisännyt taimikoita.

Ikärakenteen pahin heikkous on yli-ikäisten kuusikoiden runsaus Pohjois-Suomessa. Koska yli-ikäinen kuusikko on lahoamistuhoille paljon alttiimpi kuin männikkö, aiheutuu vanhimpien kuusikoiden seisottamisesta pelkkää menetystä.

Lehtipuuvaltaisten metsiköiden ikärakenteesta voidaan todeta, että 1—20 vuotisten metsiköiden osuus on selvästi lisääntynyt 5. inventoinnin tuloksiin verrattuna. Metsätalouden tuoton kannalta niistä on kuitenkin vähän hyötyä, sillä pääosa niistä on alunperin vajaatuottoisia.

Kun uusien taimikoiden ja vapautettujen alikasvosten määrät lasketaan yhteen, niin uusia nuoria metsiköitä on syntynyt noin 6 milj. ha viimeksi kuluneiden 25 vuoden aikana. Niiden kehittyminen kohden suurimman kasvun kehitysvaihetta on perusta puuston kasvun suurenemiselle kuluvalla vuosisadalla.

Ikärakenteen kehittämisen kannalta tulisi uudistamista lisätä Etelä-Suomessa ja asettaa tavoitteeksi suurentaa 1—20 vuotisten metsiköiden osuus vähintään 20 %:ksi. Pohjois-Suomessa tulisi saattaa yli-ikäisten metsiköiden uudistaminen päätökseen kuluvan vuosisadan aikana.

Kehitysluokkarakenteen muutoksista voi tehdä samoja havaintoja kuin ikärakenteen muutoksista. Niinpä Etelä-Suomessa on uudistusalan, taimisto- ja riukuvaiheen metsiköiden osuus suurentunut 26,8 %:sta 29,6 %:iin ja uudistuskypsien metsiköiden osuus 10,8 %:sta 12,0 %:iin. Uudistamisen hidastuminen Pohjois-Suomessa näkyy myös kehitysluokkarakenteessa.

Puuston kuutiomäärän arvio on 6. inventoinnin tulosten mukaan 28 milj. m^3 suurempi kuin 5. inventoinnin arvio. Poistuman pienemmyys kasvuun verrattuna kuitenkin alkoi vasta 6. inventoinnin keskimmäisen kenttätyövuoden 1973 jälkeen. Kun kuutiomäärän arvio v. 1977 lopussa lasketaan kasvun ja poistuman arvioiden perusteella ja muunnetaan aikaisempien inventointien arviot samakäsitteisiksi 6. inventoinnin arvion kanssa, saadaan puuston kuutiomäärän kehitystä osoittava aikasarja:

	1952	1967	1973	1977
Milj. m^3	1 538	1 492	1 520	1 573
Suhteellinen arvo	100	97	99	102

Tässä yhteydessä on syytä palauttaa mieleen Metsätalouden suunnittelukomitean esittämä puuntuotannon suurentamisen ohjelma ja siihen liittyvä suurimman kestävän suunnitteen keskimääräinen vuotuinen suunnite 54,5 milj. m^3 aikajaksolle 1963—1972 (Heikurainen ym. 1960, s. 44). Puunkäyttötutkimuksen mukainen keskimääräinen poistuma ko. aikana on ollut 56,0 milj. m^3. Suunnittelukomitean selvityksiin liittyvän hakkuulaskelman mukaan suunnitteen suuruinen puunkäyttö olisi johtanut noin 20 vuoden aikana puuston kuutiomäärän pienenemiseen. Todellisuudessa puuston kuutiomäärä pieneni noin 10 vuotta, vaikka poistuma oli ko. suunnitetta suurempi. Syynä tähän on ollut komitean ehdotuksia selvästi suurempi metsänparannus.

Puuston kuutiomäärän pienenemisen koko maassa aiheutti sen pieneneminen Pohjois-Suomessa. Etelä-Suomessa on kuutiomäärä suurentunut koko ajan 1950-luvun alun jälkeen. Pohjois-Suomessa kuutiomäärän arvio pieneni 5. ja 6. inventoinnin välisenä aikana enää 4 milj. m^3.

Puulajien kuutiomääräosuuksien kehittymistä koskevat tärkeimmät havainnot ovat männyn osuuden pienenemisen pysähtyminen 1960-luvun lopulla ja muuttuminen selväksi suurenemiseksi 1970-luvulla, kuusen kuutiomääräosuuden suurenemisen miltei loppuminen, koivun osuuden jatkuva, joskin hidastuva pieneneminen sekä lepän ja haavan osuuksien suureneminen (kuva 10, s. 31).

Edellä todetut kuutiomäärän ja sen puulajisuhteiden kehityssuunnat jatkuvat todennäköisesti 1980-luvulle saakka. Kehityksen ennustaminen sitä pidemmälle ajalle on vaikeata puunjalostamisen ja jalosteiden viennin tämänhetkisen sekavan tilanteen vuoksi.

On myös syytä palauttaa mieleen, että metsävarojen kehittämistä selvittävissä tutkimuksissa päädyttiin 1950-luvulla tulokseen, jonka mukaan »edullisimmaksi muodostuu koivupuuston vähentäminen maan metsistä n. 120 milj. k-m^3 eli n. 40—50 % n. 40 vuoden aikana» (Ilvessalo 1959, s. 18). Lehtipuiden kuutiomäärän arvio on pienentynyt 20 vuodessa 46 milj. m^3 eli 15 %.

Keskikuutiossa metsämaalla ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia 5. ja 6. inventoinnin välisenä aikana. Tämä johtuu siitä, että kuutiomäärä ja metsämaan pinta-ala ovat suurentuneet. Sen sijaan uudistuskypsien ja uudistuskypsyyttä lähestyvien metsiköiden kuutiomäärä on suurentunut selvästi Etelä-Suomessa. Tämä merkitsee sitä, että päätehakkuukertymä suurenee pinta-alayksikköä kohti ja että päätehakkuukertymää voidaan suurentaa suurentamatta uudistettavaa pinta-alaa. Eräs metsävarojen kehittämisen tavoitteita onkin ollut parantaa tällä tavalla puuntuotannon taloudellisia edellytyksiä.

Metsämaan puuston kuutiomäärästä oli 6. inventoinnin kenttätyön ajankohtana 44 % eli 650 milj. m^3 uudistuskypsissä, vajaatuottoisissa ja suojuspuumetsiköissä. Kun otetaan huomioon kitumaan puusto ja inventoinnin kenttätyön jälkeen tapahtunut kehitys, on metsässä päätehakkuilla korjattavaa puusatoa noin 700 milj. m^3. Koska tämäkin puuston osa kasvaa, joskin keskimääräistä pienemmällä kasvuprosentilla, on se niin suuri, että sen korjaaminen suurimman kestävän suunnitteen suuruisena vuotuispoistumana ilman kasvatushakkuita kestää noin 15 vuotta.

Vielä on otettava huomioon, että suurin osa runsaista varttuneista kasvatusmetsiköistä vanhenee lähimpien 15 vuoden aikana uudistuskypsiksi metsiköiksi. Kaikki tämä merkitsee sitä, että puun korjuun mahdollisuudet ovat erittäin runsaat kuluvan vuosisadan loppuosalla ja että ikärakenteen tasoittamista ei kyetä enää toteuttamaan ilman suuria lahoamisvahinkoja vanhoissa kuusikoissa ja koivikoissa.

Johdonmukaisena seurauksena ikärakenteen kehittymisestä, hakkuutapojen paranemisesta ja metsänparannuksen lisääntymisestä on järeän puuston lisääntyminen jatkunut, joskin hidastuen verrattuna kehitykseen 3. ja 5. inventoinnin välisenä aikana (kuva 15, s. 40). Suhteellinen järeytyminen tapahtuu lähinnä kuusen varassa. Männyllä

se on jo pysähtynyt, mutta koska männyn kokonaiskuutiomäärä lisääntyy, suurenee myös yli 20 cm rinnankorkeusläpimitaltaan olevien mäntyjen kuutiomäärä. Järeän lehtipuuston kuutiomäärä on jo alkanut pienetä.

Rinnankorkeusläpimitaltaan yli 19,5 cm olevien tukkipuurunkojen kokonaismäärän arvio on 1 797 milj. kpl ja se on suurentunut noin 300 milj. kpl 5. inventoinnin arvioon verrattuna. Lisäys on 21 %. Rinnankorkeusläpimitaltaan yli 20,5 cm olevien puiden kuutiomäärän arvio on lisääntynyt 12 %. Osaksi ero johtuu puuston laadun paranemisesta ja osaksi tukkirungon laatumääritysten muuttumisesta. Jälkimmäinen koskee varsinkin koivua.

Tukkiosuus on 52 % mäntypuustosta, 43 % kuusipuustosta, 14 % lehtipuustosta ja 42 % koko puustosta. Tukkiosuus suurenee todennäköisesti ainakin 1980-luvun ajan. Sen kehittyminen on kuitenkin suuresti riippuvainen hakkuiden rakenteesta. Kuusen ja koivun tukkiosuutta pienentää vanhoissa metsiköissä lisääntyvä lahovikaisuus, joka näyttää olevan maan etelä- ja lounaisosien rannikkomaakunnissa yleisempää kuin tähän asti on oletettu.

Puun kasvun arvioita toisiinsa verrattaessa on otettava huomioon 5. inventoinnissa ensimmäisen kerran käyttöön otettu menetelmä, jossa kokonaiskasvun arvio on kasvunmittausjakson lopussa metsässä olevien puiden ja jakson aikana elävästä puustosta poistuneiden puiden kasvujen summa ja että pystypuiden kuutioimisen menetelmä uusittiin 6. inventoinnissa. Nämä huomioon ottavan tarkastelun tulos on, että kasvu on ollut 1950-luvun alusta lähtien likimain samansuuruinen tai suurentunut verraten vähän (K u u s e l a 1977 a). Ellei olisi suoritettu metsänparannusta niin paljon kuin on tapahtunut, olisi vuotuinen kasvu puuston vanhenemisen ja järeytymisen vuoksi tällä hetkellä noin 5 milj. m^3 pienempi kuin sen arvio on.

Kun otetaan huomioon ilmaston vaikutus kasvuindeksin vaihteluun, niin 1950-luvun jälkeen kuusen kasvu on suurentunut ja lehtipuiden kasvu pienentynyt. 1970-luvulla ovat nämä kehityssuunnat pysähtyneet ja männyn kasvu on alkanut pysyvästi suureta mäntyä suosineen uudistamisen vuoksi.

Metsän kasvu on kuluvan vuosisadan loppuosalla suureneva. Puulajisuhteiden kehittymistä tulisi ohjata siten, että vähäarvoisen lehtipuuston osuus kasvussa pienenisi ja että kuusen uudistaminen sille sopivilla kasvupaikoilla lisääntyisi.

Alueellisesti kasvu suurenee siellä, missä vanhoja metsiköitä on uudistettu eniten, so. pääosassa Pohjois-Suomen ja Etelä-Suomen vesistöjen latva-alueita. Pienenevän kasvun alueita ovat ne, missä metsiköiden yli-ikäistyminen on päässyt liian pitkälle. Pääosassa Etelä-Suomea kasvun määrä pysynee muuttumattomana. Kasvu lisääntyy toisaalla uusien metsiköiden ja metsänparannuksen ansiosta ja pienenee toisaalla seurauksena metsiköiden yli-ikäistymisestä.

Suunnite suurimman kestävän hakkuumahdollisuuden arviona on hitaasti suureneva. Hakkuusäästö on lähitulevaisuudessa merkittävä suunnitetta suurentava tekijä. Hakkuusäästön muodostumiseen liittyvä puuston yli-ikäistyminen taas pienentää suunnitteen suurenemista tulevaisuudessa ja sitä enemmän mitä pidemmälle yli-ikäistyminen pääsee kehittymään.

5. inventoinnin tulosten perusteella tehdyt tärkeimmät suunnitteen alueelliset tarkistukset koskivat niitä alueita, missä oli suoritettu ylihakkuita 3. inventoinnin jälkeen. Puuston pienenemisen lisäksi pyrkimys rauhoittaa laajoja metsäalueita puuntuotannon ulkopuolelle vähensi hakkuumahdollisuuksia Pohjois-Suomessa, erityisesti pohjoisimmassa Lapissa. Hakkuiden pienenemisestä, uusien taimikoiden kehittymisestä ja metsänparannuksesta johtuen metsävaroissa ei tapahtunut 5. ja 6. inventoinnin välillä sellaisia muutoksia, jotka olisivat johtaneet Pohjois-Suomessa suunnitteen jatkuvaan pienentämiseen. Eniten hakkuumahdollisuuksiin vaikuttava tekijä Pohjois-Suomessa onkin suhtautuminen jäljellä oleviin yli-ikäisiin metsiin. Jos laajoja alueita näitä metsiä rauhoitetaan kansallis- ja luonnonpuistoina tai muutoin säilytetään lahoavan puuston varastona, pienenevät kestävät hakkuumahdollisuudet. Jos taas yli-ikäisten metsiköiden uudistamista jatketaan, ovat hakkuumahdollisuudet hitaasti suurenevia.

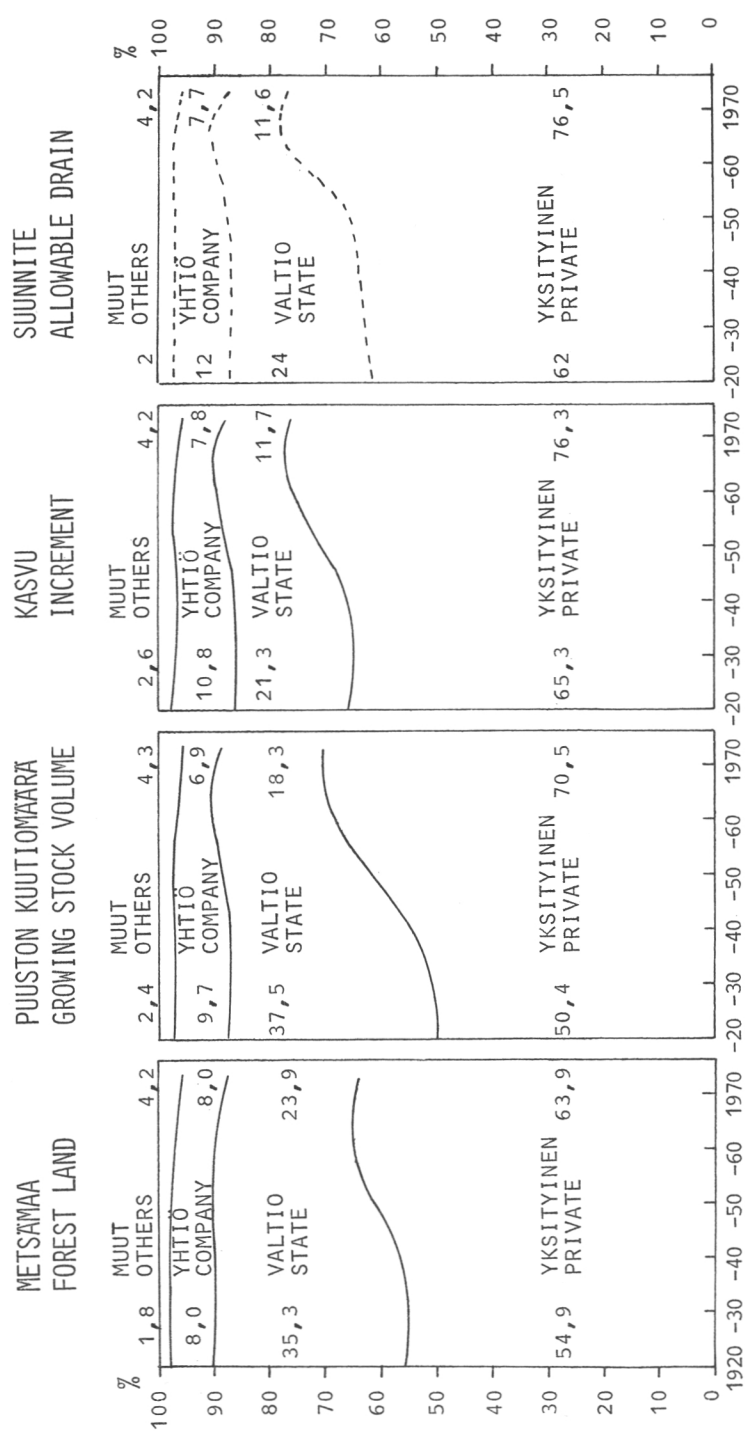
Merkittävin suunnitteen alueellinen muutos on kuusen hakkuumahdollisuuden pieneneminen Kainuussa ja Perä-Pohjolassa. Pieneneminen on niin voimakasta ja jatkuvaa, että sillä on vaikutuksensa metsäteollisuuden rakennetta kehitettäessä.

Männyn hakkuumahdollisuudet ovat lisääntyneet koko maassa 6. inventoinnin tulosten perusteella. Kehityssuunta jatkuu tulevaisuudessa. Sille on erityistä vähitellen lisääntyvä uusien nuorien männiköiden ensiharvennuskertymä. Viimeistään 1980-luvun lopulla tulisi olla valmiina taloudellisesti kannattava, kasvatushakkuisiin sopiva ensiharvennuspuun korjuumenetelmä koneineen. Ellei nuorten metsiköiden harvennusta kyetä suorittamaan, pienenevät hakkuut ja nuorten metsiköiden kehitys vaarantuu.

Lehtipuun suunnitteen pieneneminen on jatkunut Etelä-Suomessa, kun taas Pohjois-Suomessa on 6. inventoinnin tulosten mukainen lehtipuun suunnite suurempi kuin 5. inventoinnin tuloksissa. Pienikokoisen lehtipuun sitkeä säilyminen Pohjois-Suomen metsissä on niiden arvoa vakavasti alentava tekijä.

Metsän omistussuhteiden kehittymisen kannalta 5. ja 6. inventoinnin välinen aika merkitsee tärkeätä käännekohtaa (kuva 20). Siihen asti jatkunut yksityismetsien lisääntyminen muuttui pienenemiseksi ja muiden omistajien metsät alkoivat lisääntyä. Tosin valtion omistuksessa olevan metsätalouden maan lisääntyminen ei ole tilastollisesti merkitsevä eikä se todellisuudessakaan ehkä ole sitä 1970-luvun puolivälissä alkaneiden poronhoitotilojen muodostamisen vuoksi.

Yksityisessä omistuksessa olevan metsätalouden maan pienenemisen arvio on 257 000 ha. Sen ovat aiheuttaneet lähinnä elinkelvottoman pienien maatilojen myynnit, jotka ovat osa teollistumiseen liittyvää elinkeinoelämän rakenteen muuttumista (K u u s e l a 1974). On odotettavissa, että yksityismaiden myynnit lisääntyvät lähitulevaisuudessa. Ellei metsätalouden maan siirtymistä ohjata lainsäädännöllä tai valtion määrärahoilla, jatkuu alkanut kehitys. Pääasiallisina metsien ostajina ovat osakeyhtiöt ja eläkesäätiöt. Valtion ostoissa voi kansallis- ja luonnonpuistojen lisääminen tulla tähänastista tärkeämmäksi tavoitteeksi.



Kuva 20. Metsän omistuksen kehittyminen 1920—1973.

Fig. 20. Development of forest ownership conditions in 1920—1973.

Puuston ja kasvun arvioiden lisäys on erittäin selvä osakeyhtiöiden ja ryhmän muut omistajat metsissä. Kasvun suureneminen johtuu osaksi puuston kuutiomäärän suurenemisesta ja osaksi keskimääräistä tehokkaammasta metsänparannuksesta ja paremmasta metsänhoidosta. Osakeyhtiöt ovat harjoittaneet likimain Mera-ohjelmien voimaperäisyyttä vastaavaa puuntuotantoa ja niiden metsäntunnusten kehittyminen osoittaa, että Mera-ohjelmien kasvunlisäystavoitteet ovat saavutettavissa. Osakeyhtiöiden metsissä on myös hakkuujärjestys ollut oikea. Puustoa on uudistettu alkaen vanhimmista ja vajaatuottoisista metsiköistä ja kasvatettavien metsiköiden kuutiomäärää on lisätty.

Kansantalouden kannalta katsottuna osakeyhtiöt ovat osoittautuneet hyviksi metsänomistajiksi. Puuntuotanto näyttää olevan tehokkainta silloin, kun se on puunjalostamisen kanssa saman yrittäjän toimintaa.

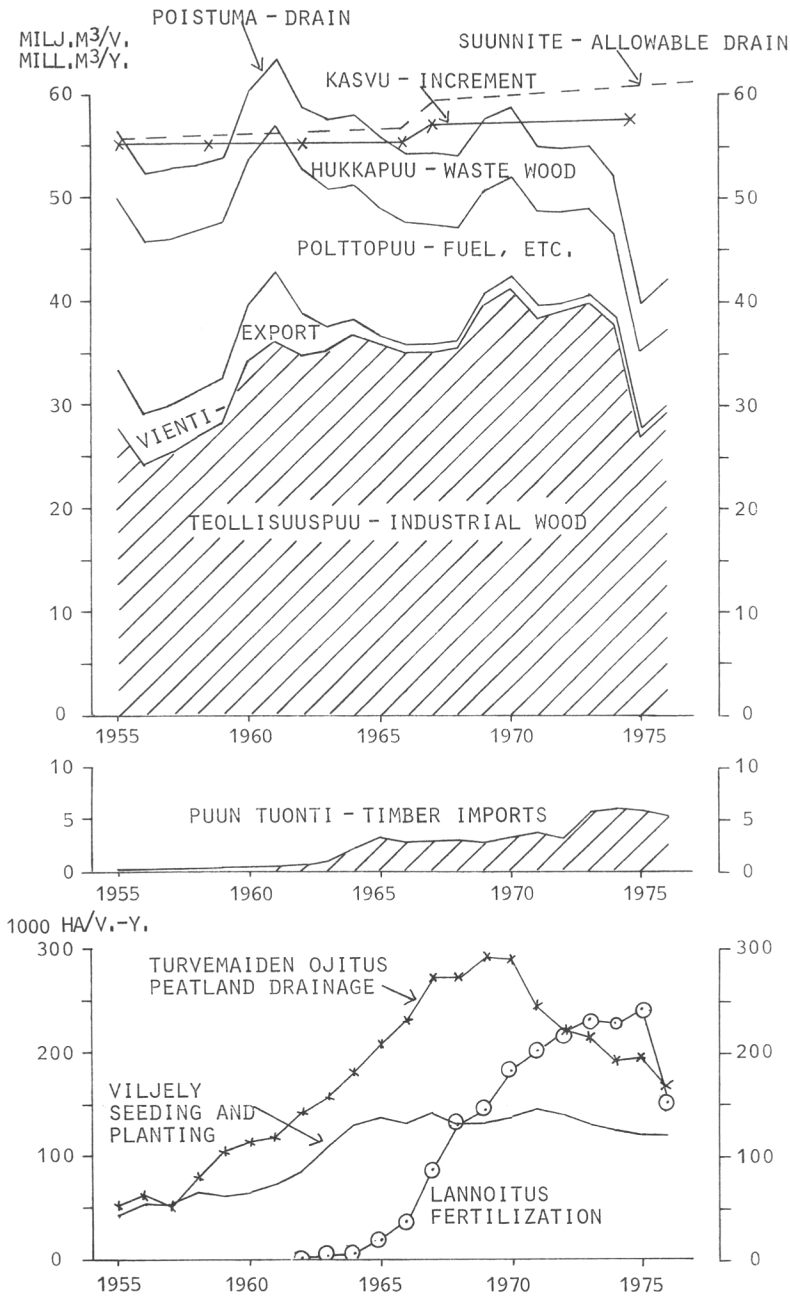
Valtion metsien tilan vertaamista muiden omistajien metsiin vaikeuttaa niiden sijainti kauimpana puunkäyttöpaikoista ja huonoimmassa ilmastossa sekä valtion metsien pirstominen ja niiden puuntuotannon järjestelyn pilaaminen asutustoiminnalla ja metsän parhaiden osien siirtämisellä yksityisomistukseen. Valtiovallan harjoittamassa politiikassa valtion metsät ovat kaikkien muiden käyttötarkoitusten mutta ei puuntuotannon reservi. Puuntuotantoa on pidetty toisarvoisena ja sen harjoittamista järkevänä toimintana on vaikeutettu.

Valtion metsien tila siellä, missä pitkäjänteisen puuntuotannon edellytykset ovat olleet olemassa, on keskimääräistä parempi. Kokonaisuutta sävyttävät kuitenkin epäedullisissa ilmasto-oloissa tehtävät laajat metsänparannus- ja metsänuudistustyöt sekä lahoavat yli-ikäiset metsiköt.

Yksityismetsien tila on suhteellisen hyvä, varsinkin jos niitä verrataan muiden maiden metsiin samoissa ilmasto-oloissa. Niiden laatu on parantunut ja arvo lisääntynyt sekä niissä on tehty paljon metsänparannusta. Toisaalta on kuitenkin ilmeistä, että nykyisen metsäpolitiikan vallitessa tällä omistusmuodolla ei ole edellytyksiä harjoittaa niin tehokasta ja hyvää puuntuotantoa kuin kansantalouden kannalta olisi suotavaa. Voidaan sanoa, että 1960-luku oli yksityismetsätalouden etsikkoaikaa, joka käytettiin vain osittain hyväksi. 6. inventoinnin tuloksissa on jo havaittavissa tuotannon heikkenemisen merkkejä, kuten metsiköiden yli-ikäistymistä, kasvuprosentin pienenemistä ja metsänhoidollisen laadun heikkenemistä.

Metsänomistuksen rakenteen tärkein muutos on muiden kuin maatilataloutta päätoimenaan harjoittavien yksityishenkilöiden metsänomistuksen lisääntyminen. Sitä koskevat tiedot ovat muiden tutkimusten kuin valtakunnan metsien inventointien tuloksia. Omistusmuodon osuus lisääntyy runsaan prosenttiyksikön vuosivauhdilla ja käsittää 37 % yksityismetsistä (Reunala 1977, Järveläinen 1978).

Metsätaseen, puun tuonnin ja puuntuotannon panosten kehittyminen esitetään kuvassa 21. Poistuman selvä aleneminen tapahtui huippuvuoden 1961 jälkeen. Ennen lamavuosia 1975 ja 1976 poistuma näyttää tasoittuneen noin 55 milj. m^3:n vuotuistasolle. Teollisuuden ensiasteisen puun käyttö suureni aikana 1961—1973 36 milj.



Kuva 21. Vuotuinen kasvu, suunnite ja poistuma osineen, tuontipuu ja tärkeimmät puuntuotannon panokset 1955—1976.

Fig. 21. Annual increment, allowable drain, drain and its parts, timber imports and most important inputs of timber production.

m^3:stä 46 milj. m^3:iin vuotta kohti. Puun tarve on voitu tyydyttää vain tuontipuulla, jonka määrä oli 6 milj. m^3 vuosina 1973—1975.

Alueellisesti tapahtui metsätasetilanteessa tasoittumista 1970-luvun alkuun mennessä sikäli, että hakkuiden suhteellinen osuus lisääntyi Etelä-Suomessa ja pieneni Pohjois-Suomessa (kuva 19 ja Talkamo 1977). V. 1975 alkaneen laman seurauksena hakkuut ovat kuitenkin pienentyneet voimakkaasti Etelä-Suomessa ja erityisesti sen itäosissa (kuva 19).

Julkisuudessa on käyty keskustelua siitä, onko tuontipuu ollut syy vai seuraus suhteessa pienenevään poistumaan omista metsistä. Aikasarjojen perusteella voidaan yksiselitteisesti todeta, että tuontipuun määrän suureneminen on tapahtunut kotimaisen puun poistuman pienenemisen jälkeen ja teollisuuden puun tarpeen suuretessa. Kun sitten tuonti erityisesti Neuvostoliitosta on saavuttanut tietyn suuruusluokan, on se osaltaan estänyt omien hakkuiden lisäämistä.

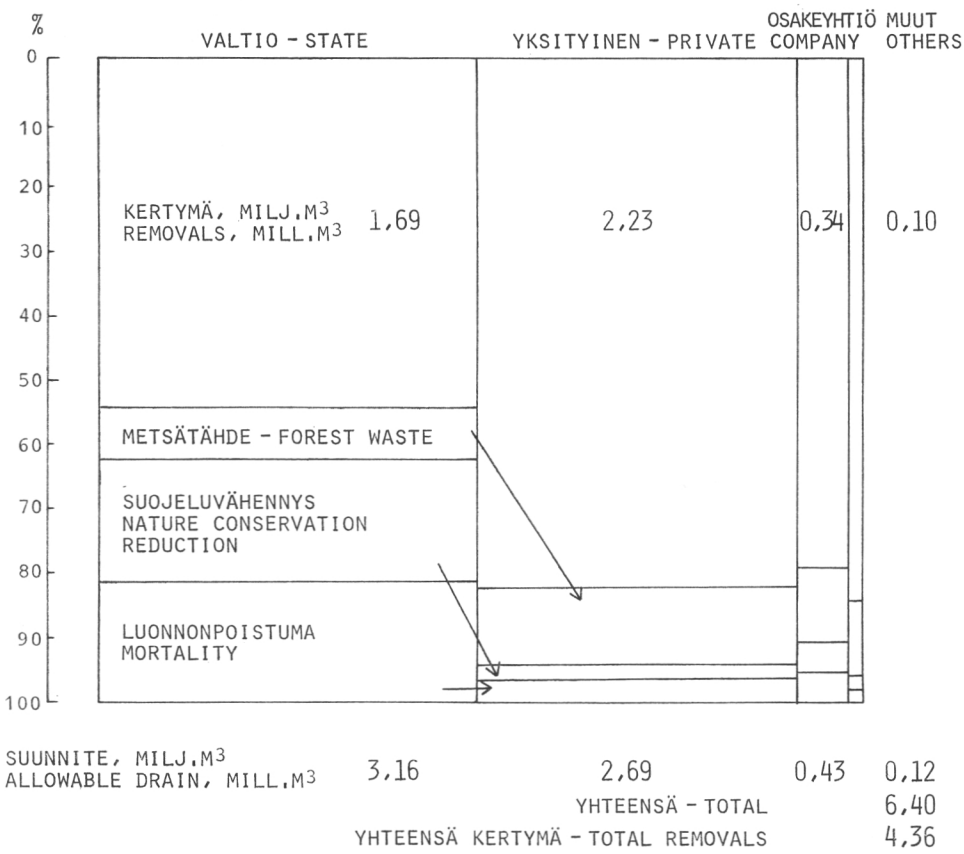
Metsänomistusrakenteen, maaseutuväestön ja elinkelpoisten tilojen tulojen sekä hakkuiden määrällisen kehittymisen perusteella näyttää ilmeiseltä, että metsää omistavan väestön tarve saada mahdollisimman paljon metsätuloja väheni olennaisesti 1960-luvulla (Kuusela 1974). Metsän merkitys jokavuotisten tulojen ja työn lähteenä väheni ja merkitys »vararahastona» ja hintahuippujen hyödyntämisen välineenä kasvoi.

Erityisen merkittävää oli tapahtuminen vuosina 1973 ja 1974 (vrt. aikasarjoja Metsätilastollisesta vuosikirjasta, 1976). Puunjalosteiden menekki lisääntyi ja vientihinnat nousivat voimakkaasti. Kotimaista puuntarjontaa yritettiin lisätä korottamalla puun hintoja kahdessa vuodessa 2-3 kertaisiksi. Seurauksena tästä puun tarjonta ja kotimaiset hakkuut eivät suurentuneet vaan pienenivät. Metsänomistajat saivat tulotavoitteensa runsain määrin täyteen pienenevillä myyntimäärillä. Puun tarpeen tyydyttämiseksi oli puun tuonti kaksinkertaistettava.

Väistämätön päätelmä tapahtuneesta on, että yksityisomistusvaltainen metsätalous on menettänyt ainakin tilapäisesti kykynsä saada tarjontaan ja käyttöön suurinta kestävää suunnitetta tai edes kasvua vastaavaa puumäärää eikä tämä kyky todennäköisesti palaudu ilman tehostuvaa ja uusia keinoja käyttävää metsäpolitiikkaa. Useita vuosia jatkuneista pienistä hakkuista on vielä seurauksena työvoiman ja yleisen valmiuden pieneneminen määriin, jotka voivat estää hakkuiden suurentamisen, vaikka halu myydä puuta paranisikin.

Puunkasvua suurentavat panokset lisääntyivät voimakkaasti 1960-luvun alun ylihakkuutilanteessa ja sen jälkeen. Panokset alkoivat pienetä 1970-luvun alussa ja erityisesti vuosina, jolloin kantohintatulot olivat suurimmillaan ja jolloin ei olisi pitänyt olla ainakaan panosten rahoittamisvaikeuksia. Tämä viittaa siihen, että yksityisomistusvaltainen metsätalous on menettämässä myös kykyään harjoittaa edistyvää metsätaloutta.

Metsätalouden suorituskyvyn heikkenemiseen liittyi ja heikkenemistä ilmeisestikin vahvisti 1960-luvulla yleistynyt luonnonsuojelua korostava näkemys, jonka mukaan laajoja metsäalueita tulisi jättää kokonaan tai osaksi puuntuotannon ulkopuolelle, ja

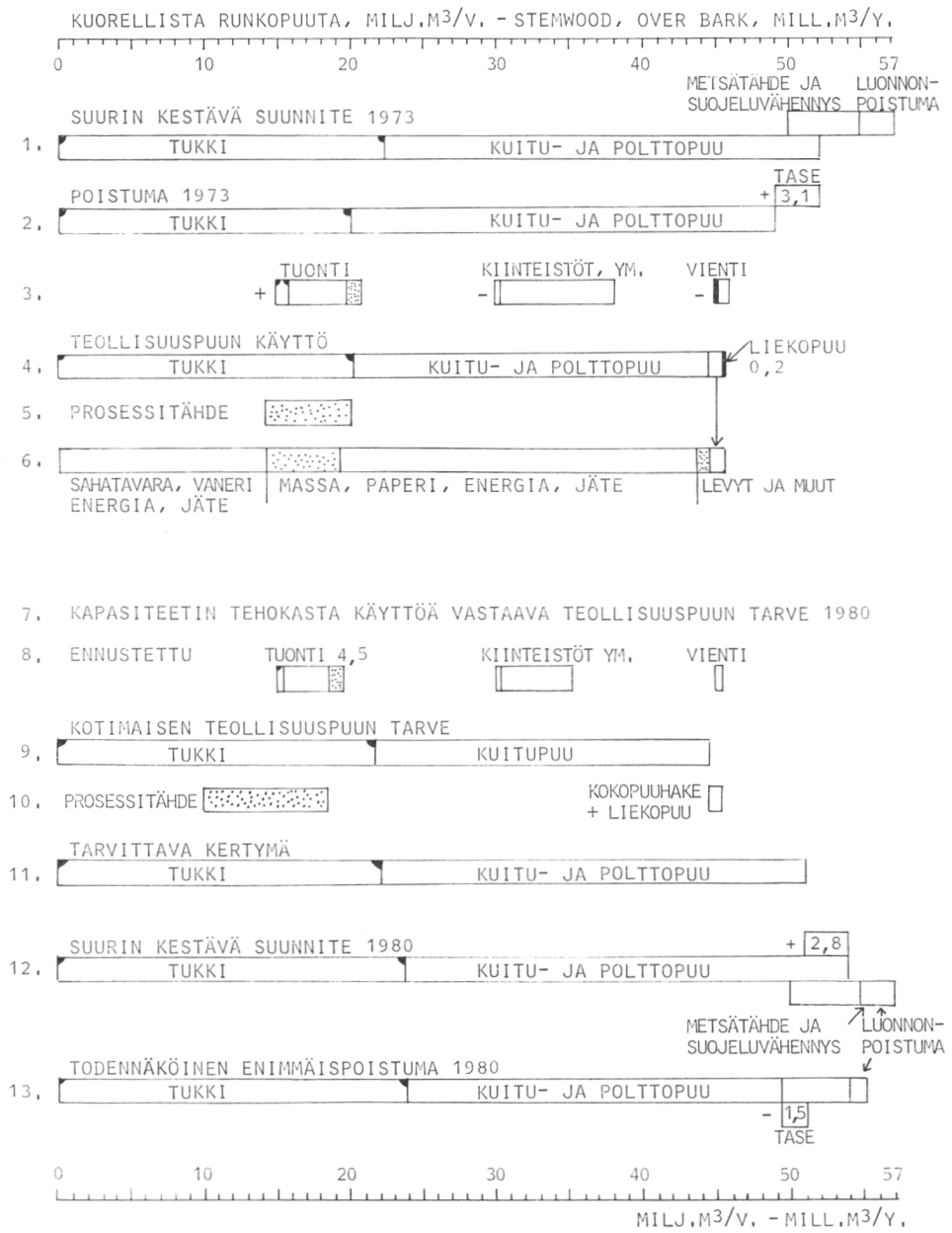


Kuva 22. Suunnite ja sen osat eri omistajien metsissä Lapin ja Koillis-Suomen piirimetsälautakunnan alueella.

Fig. 22. Allowable drain and its parts by forest ownership categories in Forestry Board Districts of Lappi and Koillis-Suomi.

joka näkemys on saanut konkreettisen sisältönsä Kansallispuistokomitean mietinnössä (1976) ja Soiden suojelun perusohjelmassa (1977). Näkemys syntyi ja kehittyi halpojen raaka-aineiden ja energian olosuhteissa, jolloin uskottiin teollistumisen varassa tapahtuvaan elintason itsestään selvään nousuun. 1970-luvun tapahtumat ovat osoittaneet nämä käsitykset suurelta osalta illuusioiksi. Ne ovat johtamassa perustuotannon ja omien luonnonvarojen arvostuksen lisääntymiseen.

Lapin ja Koillis-Suomen piirimetsälautakunnan alueen suunnite ja sen jakaantuminen osiinsa (kuva 22) havainnollistaa pääasiassa luonnonsuojelunäkemyksestä seurauksena olevaa tilannetta pohjoisimmassa Suomessa. Kuten jo 5. inventoinnin tulosten yhteydessä (K u u s e l a 1972, s. 63—67) on todettu, riippuu hakkuumahdollisuuden suuruus tällä alueella olennaisesti siitä, miten jäljellä olevia yli-ikäisiä metsiä käsitellään ja mikä on niiden uudistamisjärjestys.



Kuva 23. Puutase 1973 ja 1980.
Fig. 23. Timber balance in 1973 and 1980.

FIG. 23. COMMENTS

1. *Greatest allowable drain on the basis of sustained yield in 1973: Saw and veneer logs + pulp and fuelwood + forest waste and nature conservation reduction + mortality.*
2. *Drain in 1973: Saw and veneer logs + pulp and fuelwood. Balance of usable wood: +3,1 mill.m³.*
3. *Imports of timber and process residues; timber used by farms, buildings, etc., exports of timber.*
4. *Utilization of industrial timber: saw and veneer logs + pulp and fuel wood + parts of dead trees 0,2 mill.m³.*
5. *Process residues (saw and veneer mill residues, etc.).*
6. *Lumber, veneer and plywood, energy, waste; pulp, paper, energy, waste; boards, etc.*
7. *Need for industrial wood if the forecast industrial capacity is in efficient use in 1980.*
8. *Forecasts: Imports 4,5 mill.m³; timber used by farms, buildings, etc., exports.*
9. *Need for domestic industrial timber: Saw and veneer logs + pulpwood.*
10. *Process residues; whole tree chips and parts of dead trees.*
11. *Removals needed: Saw and veneer logs + pulp and fuelwood.*
12. *Greatest allowable drain on the basis of sustained yield in 1980: Saw and veneer logs + pulp and fuelwood + forest waste and nature conservation reduction + mortality. Balance + 2,8 mill.m³.*
13. *Probable greatest drain in 1980: Saw and veneer logs + pulp and fuelwood + forest waste + mortality. Balance —1,5 mill.m³.*

Hakkuutoiminta kokonaan kiellettynä tai sillä tavalla rajoitettuna, että taloudellisesti kannattavat hakkuut eivät ole mahdollisia n. 1 milj. ha:lla metsämaata, johtaa suunnitetta pienentävään suojeluvähennykseen ja luonnonpoistuman säilymiseen suurena. Lapin ja Koillis-Suomen alueella on suojeluvähennyksen arvio 680 000 m³ ja luonnonpoistuman arvio 703 000 m³. Valtaosa tästä sijoittuu valtion metsään.

Metsäteollisuuden huippusuhdannevuonna 1973 oli Lapissa ja Koillis-Suomessa omista metsistä saadun käyttöpuun arvio 4,4 milj. m³ ja teollisuus käytti tuontipuuta 0,6 milj. m³.

Suojeluvähennyksen, luonnonpoistuman ja metsätähteen yhteismäärä on runsaat 2 milj. m³ vuotta kohti. Tehokkaan käytön olosuhteissa voitaisiin käyttöpuun korjuuta lisätä varovaisestikin arvioiden 1 milj. m³ vuodessa. Tämän puumäärän metsään lahottamisesta aiheutuvaa työn ja tulon menetystä ei todennäköisesti voida korvata millään aluepoliittisilla toimenpiteillä Lapin läänissä. Jos puun metsään lahottaminen jatkuu, tulee metsänparannuksen tehostaminen järjettömäksi toiminnaksi, sillä kestää kymmeniä vuosia, ennen kuin sillä voidaan korvata metsään lahoavan puusadon määrä.

Puutaseella tarkoitetaan suunnitteen tai poistuman ennusteen käyttöpuuosuuden vertaamista joko todellisuudessa käytetyn, omista metsistä hakatun puun määrään tai teollisuuden puun tarvetta vastaavaan käyttöpuun määrään. Puunkäyttötutkimusten ja Suomen Metsäteollisuuden Keskusliiton valmistaman selvityksen (Puuvaraselvitys 1976, 1976) tuloksien perusteella esitetään kuvassa 23 puutaseita vuosille 1979 ja 1980.

Taseista ensimmäisenä verrataan v. 1973 tilastoitua puunkäyttöä vastaavan ajankohdan suurimpaan kestävään suunnitteeseen. Taseen mukaan suunnitteen käyttöpuun määrä on 3,1 milj. m³ suurempi kuin käyttöpuun poistuma omista metsistä. On kuitenkin syytä ottaa huomioon, että puuta tuotiin ulkomailta 6 milj. m³, ja että huippusuhdannevuosi 1973 edustaa keskimääräistä suurempaa puunkäyttöä.

10 127801280X

Teollisuuden kapasiteetin on oletettu olevan v. 1980 suuremman kuin v. 1973. Näin ilmeisesti onkin, joskin kaikkia suunniteltuja kapasiteetin laajentamishankkeita ei tulla toteuttamaan v. 1980 mennessä ja joitain kilpailukyvyltään heikkoja tehtaita tai tehtaiden osia poistettaneen tuotannosta.

Edellyttäen, että edellä todetussa selvityksessä arvioitu teollisuuden kapasiteetti on v. 1980 yhtä tehokkaassa käytössä kuin v. 1973, saadaan vuodelle 1980 tase, jossa suunnitteen käyttöpuuosuus on 2,8 milj. m^3 suurempi kuin kotimaisen puun tarve. Tuontipuun määräksi on ennustettu 4,5 milj. m^3.

Kuvan 23 kolmannessa osassa on esitetty puutase, jossa todennäköisenä enimmäispoistumana on kehityssuunnan mukainen arvio 55 milj. m^3 (vert. kuva 21). Kun muut tekijät ovat samat kuin edellisessä taseessa, saadaan tässä vertailussa tulos, jonka mukaan vajaus on 1,5 milj. m^3. Ts. puun tarpeen tyydyttäminen edellyttäisi raakapuun tuontia noin 6 milj. m^3 arvioidun 4,5 milj. m^3:n sijasta.

Koska teollisuuden kapasiteetin käyttöaste ei voi olla keskimäärin niin suuri kuin se oli v. 1973, voidaan tasevertailujen perusteella päätellä, että mikäli raakapuuta ei tuotaisi ollenkaan, riittäisi suurin kestävä hakkuumäärä kattamaan olemassa olevan teollisuuden puun tarpeen. Huippuvuosina tulisi suunnite ylittää, kun taas lamavuosina poistuma jäisi suunnitetta pienemmäksi. Teollisuuden jatkuva laajentaminen olisi mahdollista, ellei puun käyttäminen energian raaka-aineena ala lisääntyä.

Jos taas raakapuun nettotuonti jatkuu esim. vähintään 2 milj. m^3:n suuruisena vuotta kohti, on teollisuuden kapasiteetti liian pieni käyttämään suurinta kestävää suunnitetta vastaavan puumäärän.

Energiapolitiikka ja erityisesti puun asema energian raaka-aineena on tätä kirjoitettaessa valinkauhassa (K u u s e l a 1977 b). Mikäli puusadon vähäarvoisimman osan käyttäminen energian lähteenä tulee kannattavaksi, voi sillä olla suuria vaikutuksia metsätasetilanteeseen ja teollisuuden kehittämiseen. Metsän käsittelylle se merkitsisi tärkeätä tehostamisen mahdollisuutta.

Edellä esitetty päättely koskee pelkästään puutaseen fyysisiä perusteita. Metsäteollisuuden kilpailukyky, yksityismetsänomistajien puunmyynnin alttius, luonnonsuojelun tarpeet ja metsätyövoiman riittävyys ovat tekijöitä, joiden kokonaisvaikutuksesta puun käyttö ja poistuma näyttävät jäävän suunnitetta ja kasvuakin pienemmiksi ainakin lähimpien 10 vuoden aikana. Metsävarojen niukkuus ei ole lähitulevaisuuden ongelma. Sen sijaan on ongelma, millaisilla metsä- ja talouspolitiikan keinoilla kyettäisiin puun korjuun mahdollisuuksia hyödyntämään täysimääräisesti. Ilman metsäpolitiikan uusimista ei ole edellytyksiä odottaa, että metsä- ja puutalouden osuus kansantalouden kehittämisessä muodostuisi esim. niin suureksi kuin Taloudellinen suunnittelukeskus esittää sen arviossaan »Suomi 1990» (1977).

Metsätalouden lisääntyvä tehottomuus ei ole merkittävä pelkästään kansantalouden kannalta. Sen jatkumisesta on seurauksena metsänhoidon ja metsänparannuksen väheneminen ja puuston rappeutuminen. Puusadon metsään lahoaminen on alkanut jo lisääntyä. Uudistuskypsien metsiköiden kasaantuminen on ehtinyt niin pitkälle, että

merkittäviä lahoamisvahinkoja ei enää voida kokonaan estää, vaikka puunkäyttö suurenisikin nykyisestään.

Metsätalouden lähitulevaisuus näyttää sekavalta ja paradoksaaliseltakin. Puun kasvun lisäämisen tavoite hallitsi ajattelua ja toimintaa 1950- ja 1960-luvulla. Kun sitten kasvua ja hakkuumahdollisuuksia saatiin lisätyksi, ei kyetä käyttämään korjuukypsää puusatoa. Tilannetta helpottaa kuitenkin se metsän ominaisuus, että puusatoa voidaan suhteellisen kauan varastoida metsään osana kasvavaa puustoa. Pahin välitön seuraus nykytilanteesta on metsänhoidon ja metsänparannuksen väheneminen. Tilanteen jatkuminen nykyisellään johtaa aikanaan väistämättömiin kasvatetun puusadon menetyksiin.

Kansantalous ja aineellisen elintason korkeus ovat Suomessa kiinteästi riippuvaisia tärkeimmän luonnonvaran metsän hyödyntämisen tehokkuudesta. Tämä tosiasia jäi riittävää huomiota vaille halvan energian aikana 1960-luvulla, mutta sen sisältö on jälleen saamassa sille kuuluvan merkityksen. Sen sijaan yksityisomistusvaltaisen metsätalouden kyky harjoittaa tehokasta puuntuotantoa on heikentynyt pysyvästi ja niin paljon, että metsän hyödyntämisen saaminen yhtä tehokkaaksi kuin 1950- ja 1960-luvulla, edellyttää määrätietoista ja uudenlaisia keinoja käyttävää metsäpolitiikkaa ja ehkä myös valtiovallan ohjausta.

KIRJALLISUUS — *REFERENCES*

HEIKURAINEN, L., KUUSELA, K., LINNAMIES, O. & NYYSSÖNEN, A. 1960. Metsiemme hakkuumahdollisuudet. Pitkän ajan tarkastelua. Summary: Cutting possibilities of the forests of Finland. A long-term analysis. Silva Fenn. 110: 1—52.

HUTTUNEN, T. 1976. Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1973—75. Summary: Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1973—75. Folia For. 277: 1—48.

ILVESSALO, Y. 1959. Suomen metsien hakkuumahdollisuudet metsävarojen kehittämiseen tähtäävän hakkuusuunnitteen valossa. Summary: Cutting possibilities of the forests of Finland in the light of allowable cut, aiming at the development of forest resources. Commun. Inst. For. Fenn. 51 (9): 1—443.

JÄRVELÄINEN, V-P. 1978. Metsänomistajatutkimus 1975/76. Summary: Forest owner study 1975/76. Käsikirjoitus.

Kansallispuistokomitean mietintö. 1976. Komiteanmietintö 1976: 88: 1—199. Helsinki.

KILKKI, P., KUUSELA, K. & SIITONEN, M. 1977. Puutuotanto-ohjelmat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueille. Summary: Timber production programs for the Forestry Board Districts of Southern Finland. Folia For. 307: 1—61.

KUUSELA, K. 1972. Suomen metsävarat ja metsien omistus 1964—70 sekä niiden kehittyminen 1920—70. Summary: Forest resources and ownership in Finland 1964—70 and their development 1920—70. Commun. Inst. For. Fenn. 76 (5): 1—126.

—»— 1974. Metsätalous teollistuvassa Suomessa. Suomen itsenäisyyden juhlavuoden 1967 rahasto. Sarja B N:o 12: 1—141. Helsinki.

—»— 1977 a. Suomen metsien kasvu ja puutavaralajirakenne sekä niiden alueellisuus 1970—1976. Increment and timber assortment structure and their regionality of the forests of Finland in 1970—1976. Folia For. 320: 1—31.

—»— 1977 b. Puun asema muuttuvassa raaka-aine- ja energiastrategiassa. Kansallis-Osake-Pankin Taloudellinen Katsaus n:o 3. s. 14—19.

KUUSELA, K. & SALMINEN, S. 1969. The 5th National Forest Inventory in Finland. General design, instructions for field work and data processing. Commun. Inst. For. Fenn. 69 (4): 1—72.

—»— 1976. Pohjois-Karjalan metsävarat vuosina 1973—74, Etelä-Pohjanmaan, Vaasan ja Keski-Pohjanmaan vuonna 1974 sekä Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan vuonna 1975. Summary: Forest resources in the forestry board districts of Pohjois-Karjala in 1973—74, Etelä-Pohjanmaa, Vaasa and Keski-Pohjanmaa in 1974, Kainuu and Pohjois-Pohjanmaa in 1975. Folia For. 274: 1—43.

—»— 1978. Koillis-Suomen metsävarat vuonna 1976 ja Lapin metsävarat vuosina 1970 ja 1974—76. Summary: Forest resources in the Forestry Board Districts of Koillis-Suomi in 1976 and Lappi in 1970 and 1974—76. Folia For. 337: 1—35.

KUUSELA, K. & SALOVAARA, A. 1974 a. Ahvenanmaan maakunnan, Helsingin, Lounais-Suomen, Satakunnan, Uudenmaan-Hämeen, Pirkka-Hämeen, Itä-Hämeen, Etelä-Savon ja Etelä-Karjalan piirimetsälautakunnan metsävarat vuosina 1971—72. Summary: Forest re-

sources in the District of Ahvenanmaa, and the Forestry Board Districts of Helsinki, Lounais-Suomi, Satakunta, Uusimaa-Häme, Pirkka-Häme, Itä-Häme, Etelä-Savo and Etelä-Karjala in 1971—72. Folia For. 191: 1—64.

—»— 1974 b. Etelä-Karjalan, Pohjois-Savon, Keski-Suomen ja Itä-Savon metsävarat vuonna 1973. Summary: Forest Resources in the Forestry Board Districts of Etelä-Karjala, Pohjois-Savo, Keski-Suomi and Itä-Savo in 1973. Folia For. 207: 1—35.

LAASASENAHO, J. 1976. Männyn, kuusen ja koivun kuutioimisyhtälöt. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. Moniste. 1—89.

Metsätilastollinen vuosikirja 1974. Yearbook of forest statistics 1974. 1976. Folia For. 255: 1—214.

POSO, S. & KUJALA, M. 1971. Ryhmitetty ilmakuva- ja maasto-otanta Inarin, Utsjoen ja Enontekiön metsien inventoinnissa. Summary: Groupwise sampling based on photo and field plots in forest inventory of Inari, Utsjoki and Enontekiö. Folia For. 132: 1—40.

—»— 1978. A method for national forest inventory in northern Finland. Seloste: Menetelmä valtakunnan metsien inventointiin Pohjois-Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 93 (1): 1—54.

Puutavaraselvitys 1976 — Suomen raakapuu-, teollisuusjätepuu- ja metsätähdetase vuoteen 1980 sekä metsäteollisuuden puuraaka-ainenäkymät vuoteen 2000. Summary: Timber Report 1976 — Finland's roundwood, industrial residue and forest residue balances by 1980 as well as the wood raw material situation of Finnish forest industries by the year 2000. 1976. Silva Fenn. Vol. 10, N:o 4: 314—336.

REUNALA, A. 1977. Yksityismetsänomistuksen rakennemuutos. Ihminen ja metsä.74 —79. Helsinki.

SALMINEN, S. 1973. Tulosten luotettavuus ja karttatulostus valtakunnan metsien V inventoinnissa. Summary: Reliability of the results from the Fifth National Forest Inventory and a presentation of an outputmapping technique. Commun. Inst. For. Fenn. 78 (6): 1—64.

Soiden suojelun perusohjelma. 1977. Basprogram för myrskyddet. Komiteanmietintö — Kommittébetänkande 1977: 48: 1—47. Helsinki — Helsingfors.

Suomi 1990. Kansantalouden kehitysmahdollisuudet. 1977. Taloudellinen Suunnittelukeskus. 1—165. Helsinki.

TALKAMO, T. 1977. Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat v. 1973 (1970). Summary: Removal and flow of commercial roundwood in Finland during 1973 (1970) by districts. Folia For. 322: 1—42.

TIIHONEN, P. 1977 a. Männyn ja kuusen tukkipuutaulukot. Tukkien minimiläpimittaluokka männyllä 13 cm ja kuusella 13 ja 15 cm. Referat: Massentafeln für Kiefern- und Fichtenblochholz. Mindestdurchmesserklassen der Blöcher für Kiefer 13 cm und für Fichte 13 und 15 cm. Folia For. 301: 1—37.

—»— 1977 b. Kuusen kasvu kohonnut, männyn ja koivun ei. Metsälehti N:o 36. s. 8.

Valtakunnan metsien inventoinnin kenttätyön ohjeet. 1971. Metsäntutkimuslaitos. Metsänarvioimisen tutkimusosasto. Moniste. 1—45 ja liitteet.

SUMMARY

FOREST RESOURCES AND OWNERSHIP IN FINLAND 1971—1976

Introduction

The 6th National Forest Inventory was carried out between 1971 and 1976. The cycle of 6 years was shorter than earlier inventories because the funds granted for the purpose were greater and the area of two northernmost Forestry Board Districts were surveyed by a two-step sample — the first step by interpretation on aerial photographs and second step by field measurements (Poso and Kujala 1977).

The results of the 6th inventory by Forestry Board Districts have been published in earlier reports (Kuusela et al. 1974 a, 1974 b, 1976, 1977). There is also a report on forest increment by increment regions and forest ownership categories (Kuusela 1977).

In the present paper the results are presented for the whole country, for North and South Finland and for 7 sub-regions combined by Forestry Board Districts (Fig. 1). The development of the most important forest characteristics since the 1st inventory in 1921—24 is presented in figures. Detailed time series for the period 1921—70 can be found in an earlier paper (Kuusela 1972).

On the basis of the precision estimates (Salminen 1973), the standard error of the total forest land area is ±0,5 %, of the growing stock volume ±0,7 % and of the increment ±1,0 %.

Class description

The content of the forest-recource information is described in the paper by Kuusela and Salminen, 1969. The most important descriptions are as follows:

Land classes

Forest land is of a quality for the potential production of a mean annual increment of at least 1 m^3/ha of stem wood including bark, during a rotation of 100 years under favourable stand conditions.

Poorly productive land is of a quality for the potential production of a mean annual increment of 0,9—0,1 m^3/ha defined as above.

Waste land is of a quality for the potential production of a mean annual increment of less than 0,1 m^3/ha defined as above.

Roads, depots, etc.

Forestry land includes the four classes defined above.

Agricultural land includes fields, pasture, agricultural roads and the sites of farm buildings.

Built-up areas include urban and industrial areas and the sites of houses (excluding farm houses).

Communication routes, etc., include power lines, air fields and roads outside forestry land.

Sub-classes of forestry land

Mineral site.

Swamp, where swamp plants comprise more than 75 % of the ground vegetation and peatland which is transformed from swamp by drainage.

Spruce and birch swamp and peatland.

Pine swamp and peatland.

Open or naturally treeless swamp.

Ownership categories

Private. This category includes holdings owned by private individuals, private firms, heirs and those under tenancy contracts.

Company (excluding housing companies).

State. This category includes land administered by the National Board of Forestry, the Forest Research Institute and other State agencies.

Others, i.e., commune, church and corporations such as foundations, co-operative organizations, limited partnerships and housing companies.

Site-fertility classes

1. Very rich sites. On mineral sites the vegetation is characterized by Mnium spp., long-stalked herbs, grasses and ferns; on peatland by brown mosses, Mnium spp., herbs, grasses and ferns.
2. Rich sites. On mineral sites the vegetation is characterized by herbs and grasses; on peatland by herbs.
3. Damp sites. On mineral sites the vegetation is characterized by grasses, feather mosses and dwarf-shrubs; on peatland by *Myrtillus* shrub and long-stalked sedges.
4. Sub-dry sites. On mineral sites the vegetation is characterized by feather mosses, dwarf-shrubs and lichen; on peatland by *Vaccinium* shrub and oligotroph sedges.
5. Dry sites. On mineral sites the vegetation is characterized by dwarf-shrubs, heather and lichen; on peatland by cotton-grass and dwarf-shrubs.
6. Barren sites. On mineral sites the vegetation is characterized by lichen, dwarf-shrubs and an almost complete absence of herbs and grasses; on peatland by *Sphagnum fuscum* moss.

Tax classes of sites on forest land

IA: very rich and rich sites
IB: damp sites
II: sub-dry sites
III: dry and barren sites and spruce and birch swamps on forest land
IV: pine swamps on forest land

If the site productivity is reduced markedly by stones, paludification, etc., the tax class defined above can be lowered.

Degree of transformation of peat site after drainage

Swamp in natural state.

Ditched swamp, recently drained.

Transforming peat site, always forest land.

Transformed peat site, always forest land, and having reached the stage of full productivity after drainage.

Growing stock volume, increment and timber assortments

New volume functions of growing stock trees (Laasasenaho 1976) are used in the 6th inventory. Distance to the breast height is measured from the birth-point of trees which is the surface of the ground in most cases.

New functions give the volume which is approximately 3 % greater than the volume given by the earlier volume tables. This correction is made to the earlier estimates which are presented in this paper.

The volume of the growing stock trees is divided into saw log, pulp wood and that part of stem which does not come up to the timber assortment specifications. The estimate of the allowable drain is divided into timber assortment removals (saw log and pulp wood), forest waste (logging residues), mortality and nature conservation reduction (cutting potential in areas preserved for wilderness and recreational purposes).

The minimum top diameter of saw log is 14—15 cm and of pulp wood 6 cm under bark.

Land

The land area of Finland by land and forestry use classes are presented in Tables 1—17, Appendix Tables 1—10 and Figures 2—5. The proportion of forestry land, 87,7 %, and forest land, 64,6 %, are slowly increasing because the area of the agricultural land and treeless peat land is decreasing (Fig. 2). The area of fields afforested is 200 000 ha and area of peat land under drainage has increased from 3,1 mill. ha to 4,1 mill. ha during the period between the 5th and 6th inventory. The current development of land uses and land improvement may increase the area of forest land from 19,7 mill. ha to 21 mill. ha at the end of this century.

Growing stock

Tree-species dominance (Table 1, Appendix Tables 11 and 12 and Fig. 6) is characterized by the increase of pine stands and decrease of spruce stands in northern Finland. Pine has been favoured in establishing new stands after final cut and on drained peat lands. The area of birch stands has decreased. However, birch and alder stands have increased in south-western and western parts of the country because part of the fields and peat land have been afforested naturally by those species.

The most important features of the development of the age-class structure (Tables 9—11, Appendix Tables 13 and 14 and Figures 7 and 8) are the increase of the young tree stands, and in southern Finland, the increase of stands mature to be regenerated and the decrease of stands in middle age. The age of the growing stock has increased in southern Finland because of insufficient final cuts and regeneration.

Since the beginning of 1950s the forest land with new young stands has increased by 2,4 mill. ha. In addition, large areas of young stands have been released from over-storey trees and mature stands regenerated into new young stands. The total area of new age-classes brought about during the last 25 years is 6 mill. ha.

Similar conclusions can also be drawn on the basis of the development class structure of the growing stock (Table 12, Appendix Tables 15 and 16 and Fig. 9).

The volume of the growing stock by tree species is presented in Tables 13—17, Appendix Tables 16 and 17 and Figures 10—14. During the period between the 5th and 6th inventory the growing stock volume has increased by 28 mill. m^3. The volume of coniferous species and alder has increased and the volume of birch and aspen has decreased. Particularly the volume of pine has begun to increase because of the large area of fast growing young pine stands.

The mean volume per hectare has changed little because of the increasing area of forest land. However, the mean volume of the thinning stands in advanced state and the mature stands have increased, thus increasing the value of the harvestable tree stands.

In the results of the 6th inventory the volume of standards and of shelterwood, mature and low-yielding stands is 652 mill. m^3 or 44 % of the growing stock volume on the forest land.

In consequence of the age-structure development and the adoption of silvicultural thinnings during the 1950s and 1960s, the volume of trees in greater diameter classes and saw-timber resources have increased considerably (Tables 18—21, Figure 15).

Increment, allowable drain and forest balance

The gross increment of the growing stock volume by tree species, stem wood, including bark, per annum, is presented in Tables 22 and 23 and the development of it in Figure 10.

The increase of the increment during the period between the 5th and 6th inventory is relatively small compared with the amounts of forest improvement and silvicultural work carried out (Fig. 21). The principal reasons for this are the increased age of the growing stock and large areas of young seedling stands which have a small increment per hectare so far. If there had been no forest improvement at all, the current increment would be approximately 5 mill. m^3 smaller than it is.

The increment of pine is increasing markedly. Despite the decreasing volume of deciduous tree species their increment has slightly increased.

Estimate of the greatest allowable drain on the basis of sustained yield is presented in Table 24 and 25, Appendix Table 18 and Fig. 21. The sustained yield basis of the allowable drain, which is 5 % greater than the current increment, is guaranteed by the age-structure of the growing stock and the amounts of the forest improvement and silvicultural work (Fig. 21). If the input level reached at the beginning of 1970s can be maintained in the future, the increment and allowable drain could be increased to approximately 78 mill. m^3 per annum.

On the current input level the allowable drain will increase in the future. It is estimated to be 66 mill. m^3 per annum A.D. 2000.

The portion of the saw log volume is slowly increasing in the potential cut. In the allowable drain estimate it is 40 % but in the conditions of economically efficient forestry the saw log portion could be 45—50 %.

Forest balance is a comparison between the growing stock volume at the beginning and end of a balance period and the gross increment and drain during the period (Fig. 16) or a comparison between the increment, drain and allowable drain (Fig. 17). The basic estimates of the forest balance have relatively good conformity. Therefore the development of the growing stock volume can be calculated on the basis of the increment and drain estimates during periods between the inventories (Fig. 18).

The drain has been smaller than the allowable drain on the basis of sustained yield (Fig. 19 and 21). With the exception of the depression years 1975 and 1976, the decreasing trend of drain seems to have levelled at 55 mill. m^3 per annum. In consequence of this, harvestable timber is accumulating in the forest.

There have been great regional differences in the forest balance (Fig. 19). Most of the uncut mature timber has been accumulated in southern regions while the overcutting has still continued in northern regions.

Forest ownership

Forest ownership and its development is summarized in Fig. 20. Forest land ownership conditions have reached a stage where the land owned by private persons has started to decrease slightly and the land owned by other ownership categories, especially by industrial companies and corporations, has started to increase. This development will continue in the near future. The state forests may increase in the future too because of farmland purchased in regions where farming of small fields is not profitable.

The other characteristics follow the development of the forest land ownership. Especially, the companies and corporations have increased the increment of timber in their forests as a result of their intensive and good silviculture.

Intensity of timber production and timber balance

As presented in Fig. 21, the inputs to timber production reached their greatest amounts in the end of 1960s and beginning of 1970s. Since then the amount of improvement work, which increase the increment, have decreased. As mentioned earlier, the fellings and drain have decreased since 1961 and the growing need for industrial timber has been satisfied by timber imports.

This development can be explained by the structural changes in the Finnish national economy. Production industrialized and the rural population decreased rapidly between 1950 and 1965. During this period the rural population was in urgent need of income from forest work and timber sales. More recently, the bulk of forest owners have lost their willingness to sell all of the mature timber from their forests. Shortages of forest labour have also been a local problem. Finland has reached the stage of industrialized production and the level of living beyond which it seems to be impossible to fully utilize the forest resources.

An additional feature of an infustrialized society is the increasing need to preserve large forest areas outside timber production for wilderness and recreational purposes. As a result of this, the amount of the mortality and nature conservation reductions to the allowable drain in northernmost part of Finland is 1,4 mill. m^3 per annum (Fig. 22).

Timber balance is presented in Fig. 23. In the allowable drain there were 3,1 mill. m^3 of timber more than were cut in 1973, at which time the capacity of industry was in very efficient use. If the forecast capacity in 1980 is in efficient use, the excess of actual removals over allowable removals will be 2,8 mill. m^3 per annum. But if, in the same conditions, the actual drain is 55 mill. m^3, the need for domestic timber will be 1,5 mill. m^3 smaller than the actual supply.

However, during the recent recession years (1975—1977) the accumulation of mature timber crop has increased considerably in the forests of Finland. Obviously the domestic cutting possibilities are not a limiting factor for the production of forestry and forest industries in the foreseeable future.

LIITETAULUKOT — *APPENDIX TABLES*

Taulukko 1. Metsätalouden maan luokat omistajittain Etelä- ja Pohjois-Suomessa sekä koko maassa.
Table 1. Forestry land classes by ownership categories in South and North Finland and in whole country.

Maaluokka *Land class*	Alue *Area*	Yksityinen *Private*	Osakeyhtiö *Company*	Valtio *State*	Muut *Others*	Yhteensä *Total*
		1 000 ha — %				
Metsämaa — *Forest land*	Etelä-Suomi — *South Finland* ..	8 894	1 178	765	475	11 312
		78,6	10,4	6,8	4,2	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*	3 721	396	3 960	349	8 426
		44,2	4,7	47,0	4,1	100,0
	Koko maa — *Whole country* ...	12 615	1 574	4 725	824	19 738
		63,9	8,0	23,9	4,2	100,0
Kitumaa — *Poorly productive forest land*	Etelä-Suomi — *South Finland* ..	652	102	104	52	910
		71,8	11,1	11,4	5,7	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*	895	70	1 618	90	2 673
		33,5	2,6	60,5	3,4	100,0
	Koko maa — *Whole country* ...	1 547	172	1 722	142	3 583
		43,2	4,8	48,1	3,9	100,0
Joutomaa — *Waste land*	Etelä-Suomi — *South Finland* ..	401	48	80	43	572
		70,1	8,4	13,9	7,6	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*	589	45	2 100	65	2 799
		21,1	1,6	75,0	2,3	100,0
	Koko maa — *Whole country*	990	93	2 180	108	3 371
		29,4	2,7	64,7	3,2	100,0
Muu metsätalouden maa *Other forestry land*	Etelä-Suomi — *South Finland* ..	40	7	5	4	56
		70,7	13,0	8,7	7,6	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*	12	3	14	1	30
		40,0	10,0	46,7	3,3	100,0
	Koko maa — *Whole country*	52	10	19	5	86
		60,5	11,6	22,1	5,8	100,0
Yhteensä metsätalouden maa — *Total forestry land*	Etelä-Suomi — *South Finland* ..	9 987	1 335	954	574	12 850
		77,7	10,4	7,4	4,5	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*	5 217	514	7 692	505	13 928
		37,5	3,7	55,2	3,6	100,0
	Koko maa — *Whole country*	15 204	1 849	8 646	1 079	26 778
		56,8	6,9	32,3	4,0	100,0
		Omistajan prosenttiosuus — *Percentage of each ownership category*				
Metsämaa — *Forest land*	Etelä-Suomi — *South Finland*	89,0	88,3	80,2	82,8	88,0
Kitumaa — *Poorly productive forest land*		6,6	7,6	10,9	9,0	7,1
Joutomaa — *Waste land*		4,0	3,6	8,4	7,5	4,5
Muu metsätalouden maa *Other forestry land*		0,4	0,5	0,5	0,7	0,4
Yhteensä — *Total*		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Metsämaa — *Forest land*	Pohjois-Suomi — *North Finland*	71,3	77,0	51,5	69,1	60,5
Kitumaa — *Poorly productive forest land*		17,2	13,6	21,0	17,8	19,2
Joutomaa — *Waste land*		11,3	8,8	27,3	12,9	20,1
Muu metsätalouden maa *Other forestry land*		0,2	0,6	0,2	0,2	0,2
Yhteensä — *Total*		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Metsämaa — *Forest land*	Koko maa — *Whole country*	83,0	85,2	54,7	76,4	73,7
Kitumaa — *Poorly productive forest land*		10,2	9,2	19,9	13,1	13,4
Joutomaa — *Waste land*		6,5	5,0	25,2	10,0	12,6
Muu metsätalouden maa *Other forestry land*		0,3	0,6	0,2	0,5	0,3
Yhteensä — *Total*		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Taulukko 2 a. Metsätalouden maan luokkien omistus osa-alueilla 1—7 (kuva 1).
Table 2 a. Ownership of forestry land classes by sub-areas 1—7 (fig. 1).

Omistaja *Owner*	Maaluokka — *Land class*					
	Metsämaa *Forest land*	Kitumaa *Poorly prod. forest land*	Joutomaa *Waste land*	Muu metsätalousmaa *Other forestry land*	Yhteensä *Total*	
	% pinta-alasta — % *of land area*					1 000 ha
			Alue 1 — *Area 1*			
Yksityinen — *Private*	87,8	7,1	4,5	0,6	100,0	3 254
Osakeyhtiö — *Company*	90,5	5,4	3,4	0,7	100,0	212
Valtio — *State*	80,6	9,6	8,9	0,9	100,0	234
Muut — *Others*	83,7	9,2	6,1	1,0	100,0	271
			Alue 2 — *Area 2*			
Yksityinen — *Private*	94,2	3,1	2,3	0,4	100,0	1 667
Osakeyhtiö — *Company*	93,6	3,3	2,5	0,6	100,0	244
Valtio — *State*	94,7	2,6	2,4	0,3	100,0	75
Muut — *Others*	95,1	1,9	2,9	0,1	100,0	69
			Alue 3 — *Area 3*			
Yksityinen — *Private*	91,5	5,2	3,0	0,3	100,0	900
Osakeyhtiö — *Company*	84,9	9,6	5,0	0,5	100,0	286
Valtio — *State*	80,4	11,4	8,0	0,2	100,0	330
Muut — *Others*	90,1	6,9	2,8	0,2	100,0	40
			Alue 4 — *Area 4*			
Yksityinen — *Private*	94,5	3,3	1,9	0,3	100,0	1 962
Osakeyhtiö — *Company*	86,9	9,4	3,2	0,5	100,0	541
Valtio — *State*	86,3	8,4	4,7	0,6	100,0	177
Muut — *Others*	86,1	4,1	8,8	1,0	100,0	72
			Alue 5 — *Area 5*			
Yksityinen — *Private*	81,1	11,8	6,8	0,3	100,0	2 204
Osakeyhtiö — *Company*	85,3	8,0	6,4	0,3	100,0	52
Valtio — *State*	63,9	19,5	16,1	0,5	100,0	138
Muut — *Others*	69,4	15,8	14,2	0,6	100,0	122
			Alue 6 — *Area 6*			
Yksityinen — *Private*	73,2	16,0	10,6	0,2	100,0	2 342
Osakeyhtiö — *Company*	79,9	12,7	7,1	0,3	100,0	374
Valtio — *State*	69,5	17,1	13,1	0,3	100,0	1 426
Muut — *Others*	65,8	16,7	17,1	0,4	100,0	143
			Alue 7 — *Area 7*			
Yksityinen — *Private*	69,8	18,1	11,8	0,3	100,0	2 875
Osakeyhtiö — *Company*	69,2	16,7	14,1	·	100,0	140
Valtio — *State*	47,4	21,9	30,5	0,2	100,0	6 266
Muut — *Others*	70,5	18,2	11,3	·	100,0	362

Taulukko 2 b. Metsätalouden maan luokkien omistus osa-alueilla 1—7 (kuva 1).
Table 2 b. Ownership of forestry land classes by sub-areas 1—7 (fig. 1).

Omistaja *Owner*	Maaluokka — *Land class*				
	Metsämaa *Forest land*	Kitumaa *Poorly prod. forest land*	Joutomaa *Waste land*	Muu metsätalousmaa *Other forestry land*	Yhteensä *Total*
	% pinta-alasta — % *of land area*				
	Alue 1 — *Area 1*				
Yksityinen — *Private*	82,4	90,5	80,6	83,7	81,9
Osakeyhtiö — *Company*	5,6	5,4	9,6	9,2	5,4
Valtio — *State*	5,5	3,4	8,9	6,1	5,9
Muut — *Others*	6,5	0,7	0,9	1,0	6,8
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Alue 2 — *Area 2*				
Yksityinen — *Private*	81,0	81,9	79,3	80,4	80,0
Osakeyhtiö — *Company*	11,9	12,9	12,7	16,2	11,9
Valtio — *State*	3,7	3,1	3,7	2,8	4,7
Muut — *Others*	3,4	2,1	4,3	0,6	3,4
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Alue 3 — *Area 3*				
Yksityinen — *Private*	60,1	40,9	39,2	50,0	57,7
Osakeyhtiö — *Company*	17,9	23,9	20,9	32,4	18,5
Valtio — *State*	19,4	32,8	38,3	16,0	21,2
Muut — *Others*	2,6	2,4	1,6	1,6	2,6
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Alue 4 — *Area 4*				
Yksityinen — *Private*	72,9	48,8	54,1	53,4	71,2
Osakeyhtiö — *Company*	18,6	38,0	25,0	27,0	19,8
Valtio — *State*	6,0	11,0	11,9	11,9	6,4
Muut — *Others*	2,5	2,2	9,0	7,7	2,6
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Alue 5 — *Area 5*				
Yksityinen — *Private*	89,2	83,7	77,8	79,9	87,6
Osakeyhtiö — *Company*	2,2	1,3	1,7	1,8	2,1
Valtio — *State*	4,4	8,7	11,5	8,4	5,5
Muut — *Others*	4,2	6,3	9,0	9,9	4,8
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Alue 6 — *Area 6*				
Yksityinen — *Private*	55,3	54,3	51,0	48,9	54,6
Osakeyhtiö — *Company*	9,6	6,9	5,5	9,4	8,7
Valtio — *State*	32,0	35,3	38,5	36,9	33,3
Muut — *Others*	3,1	3,5	5,0	4,8	3,4
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Alue 7 — *Area 7*				
Yksityinen — *Private*	37,7	26,2	14,7	41,5	29,8
Osakeyhtiö — *Company*	1,8	1,2	0,9	·	1,4
Valtio — *State*	55,7	69,3	82,6	56,8	65,0
Muut — *Others*	4,8	3,3	1,8	1,7	3,8
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Taulukko 3. Metsä-, kitu- ja joutomaan alaryhmät omistajittain.
Table 3. Forest, poorly productive forest, and waste land by sub-groups and ownership categories.

Omistaja *Owner*	Kangas *Mineral soils*	Korpi *Spruce and birch swamp*	Räme *Pine swamp*	Neva *Open swamp*	Yhteensä *Total*	Kangas *Mineral soils*	Turvemaa *Peatland*	Yhteensä *Total*
	% alasta — % *of area*					1 000 ha		
	Etelä-Suomi — *South Finland*							
Yksityinen — *Private*	73,0	9,5	15,6	1,9	100,0	7 300	2 644	9 944
Osakeyhtiö — *Company*	67,7	9,1	21,4	1,8	100,0	905	423	1 328
Valtio — *State*	58,3	6,8	30,4	4,5	100,0	559	390	949
Muut — *Others*	70,0	7,4	18,5	4,1	100,0	400	170	570
Yhteensä — *Total*	71,2	9,2	17,4	2,2	100,0	9 164	3 627	12 791
	Pohjois-Suomi — *North Finland*							
Yksityinen — *Private*	50,4	10,4	31,4	7,8	100,0	2 625	2 580	5 205
Osakeyhtiö — *Company*	53,6	6,1	33,6	6,7	100,0	274	237	511
Valtio — *State*	65,1	5,0	17,6	12,3	100,0	5 001	2 677	7 678
Muut — *Others*	57,7	7,0	25,8	9,5	100,0	291	213	504
Yhteensä — *Total*	58,9	7,1	23,7	10,3	100,0	8 191	5 707	13 898
	Koko maa — *Whole country*							
Yksityinen — *Private*	65,5	9,7	20,9	3,9	100,0	9 925	5 224	15 149
Osakeyhtiö — *Company*	64,1	8,1	24,6	3,2	100,0	1 179	660	1 839
Valtio — *State*	64,5	5,1	19,0	11,4	100,0	5 560	3 067	8 627
Muut — *Others*	64,4	7,2	21,8	6,6	100,0	691	383	1 074
Yhteensä — *Total*	65,0	8,0	20,6	6,4	100,0	17 355	9 334	26 689

Taulukko 4. Metsä-, kitu- ja joutomaan alaryhmät omistajittain osa-alueilla 1—7 (kuva 1).
Table 4. Forest, poorly productive forest, and waste land by sub-classes and ownership categories in sub-areas 1—7 (fig. 1).

Alaryhmä *Sub-class*	Yksityinen *Private*	Osakeyhtiö *Company*	Valtio *State*	Muut *Others*
	% alasta — % *of area*			
	Alue 1 — *Area 1*			
Kangas — *Mineral soils*	81,3	80,1	68,4	77,6
Korpi — *Spruce and birch swamp*	8,4	9,7	6,3	7,6
Räme — *Pine swamp*	8,9	9,3	21,5	12,6
Neva — *Open swamp*	1,4	0,9	3,8	2,2
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0
	Alue 2 — *Area 2*			
Kangas — *Mineral soils*	80,7	77,8	83,2	79,8
Korpi — *Spruce and birch swamp*	9,5	8,6	8,1	8,1
Räme — *Pine swamp*	8,5	12,9	8,0	10,4
Neva — *Open swamp*	1,3	0,7	0,7	1,7
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0
	Alue 3 — *Area 3*			
Kangas — *Mineral soils*	70,4	62,1	53,2	70,0
Korpi — *Spruce and birch swamp*	10,0	7,5	6,9	7,4
Räme — *Pine swamp*	18,0	27,1	35,4	21,4
Neva — *Open swamp*	1,6	3,3	4,5	1,2
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0
	Alue 4 — *Area 4*			
Kangas — *Mineral soils*	74,7	62,6	55,5	73,9
Korpi — *Spruce and birch swamp*	11,6	9,5	9,3	7,6
Räme — *Pine swamp*	12,7	26,3	32,7	12,5
Neva — *Open swamp*	1,0	1,6	2,5	6,0
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0
	Alue 5 — *Area 5*			
Kangas — *Mineral soils*	54,8	52,1	43,2	45,6
Korpi — *Spruce and birch swamp*	9,0	12,8	3,6	6,5
Räme — *Pine swamp*	32,2	29,2	43,1	38,2
Neva — *Open swamp*	4,0	5,9	10,1	9,7
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0
	Alue 6 — *Area 6*			
Kangas — *Mineral soils*	45,7	52,3	50,9	42,7
Korpi — *Spruce and birch swamp*	9,7	6,5	5,8	6,6
Räme — *Pine swamp*	37,2	36,6	33,5	38,6
Neva — *Open swamp*	7,4	4,6	9,8	12,1
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0
	Alue 7 — *Area 7*			
Kangas — *Mineral soils*	54,3	56,8	68,4	63,8
Korpi — *Spruce and birch swamp*	11,0	5,4	4,7	7,0
Räme — *Pine swamp*	26,7	25,4	14,0	20,9
Neva — *Open swamp*	8,0	12,4	12,9	8,3
Yhteensä — *Total*	100,0	100,0	100,0	100,0

Taulukko 5. Metsämaan kankaiden jakaantuminen kasvupaikkatyyppeihin (s. 7) omistajittain.
Table 5. Forest land mineral soils by site types (p. 78) and ownership categories.

Omistaja *Owner*	Kasvupaikkatyyppi — *Site type* 1	2	3	4	5	6	Yhteensä *Total*
	% alasta — % *of area*						
	Etelä-Suomi — *South Finland*						
Yksityinen — *Private*	1,7	29,6	43,7	23,1	1,8	0,1	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	0,3	12,8	44,0	39,4	3,5	·	100,0
Valtio — *State*	0,6	6,9	41,1	45,0	6,3	0,1	100,0
Muut — *Others*	2,3	22,7	39,1	33,1	2,7	0,1	100,0
Yhteensä — *Total*	1,5	26,2	43,4	26,5	2,3	0,1	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*						
Yksityinen — *Private*	0,4	4,6	45,0	44,5	5,4	0,1	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	0,1	3,5	43,6	47,6	5,1	0,1	100,0
Valtio — *State*	·	2,7	37,6	48,1	11,5	0,1	100,0
Muut — *Others*	0,1	4,7	46,3	41,4	7,5	·	100,0
Yhteensä — *Total*	0,2	3,5	41,1	46,4	8,7	0,1	100,0
	Koko maa — *Whole country*						
Yksityinen — *Private*	1,4	22,9	44,0	28,8	2,8	0,1	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	0,2	10,6	43,9	41,4	3,8	0,1	100,0
Valtio — *State*	0,1	3,2	38,1	47,7	10,8	0,1	100,0
Muut — *Others*	1,4	15,2	42,1	36,6	4,7	·	100,0
Yhteensä — *Total*	0,9	16,6	42,4	35,0	5,0	0,1	100,0

Taulukko 6. Metsämaan kankaiden jakaantuminen kasvupaikkatyyppeihin (s. 7) omistajittain osa-alueilla 1—7 (kuva 1).

Table 6. Forest land mineral soils by site types (p. 78) and ownership categories in sub-areas 1—7 (fig. 1)

Omistaja *Owner*	Kasvupaikkatyyppi — *Site type* 1	2	3	4	5	6	Yhteensä *Total*
	% alasta — % *of area*						
	Alue 1 — *Area 1*						
Yksityinen — *Private*	1,8	33,9	40,8	22,3	1,2	—	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	0,7	20,4	45,0	29,5	4,4	—	100,0
Valtio — *State*	1,2	12,4	40,4	36,2	9,3	0,5	100,0
Muut — *Others*	2,3	25,6	36,9	32,5	2,7	—	100,0
	Alue 2 — *Area 2*						
Yksityinen — *Private*	1,9	31,8	44,2	21,3	0,8	—	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	0,3	13,2	39,9	42,9	3,6	0,1	100,0
Valtio — *State*	0,3	7,5	54,5	36,2	1,5	—	100,0
Muut — *Others*	2,3	20,2	45,4	29,4	2,7	—	100,0
	Alue 3 — *Area 3*						
Yksityinen — *Private*	2,0	30,8	48,9	17,0	1,3	—	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	0,1	8,5	44,2	44,6	2,6	—	100,0
Valtio — *State*	0,7	1,8	44,0	49,2	4,3	—	100,0
Muut — *Others*	1,6	15,1	38,7	43,9	0,7	—	100,0
	Alue 4 — *Area 4*						
Yksityinen — *Private*	2,4	34,7	45,7	16,5	0,7	—	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	0,1	11,5	46,2	39,1	3,1	—	100,0
Valtio — *State*	0,1	7,6	36,9	47,6	7,8	—	100,0
Muut — *Others*	3,9	31,9	44,6	19,5	0,1	—	100,0
	Alue 5 — *Area 5*						
Yksityinen — *Private*	0,5	11,4	43,8	38,1	5,8	0,4	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	0,2	9,1	38,8	45,3	6,3	0,3	100,0
Valtio — *State*	0,1	6,0	27,3	59,1	7,5	—	100,0
Muut — *Others*	1,0	10,1	35,4	46,5	6,6	0,4	100,0
	Alue 6 — *Area 6*						
Yksityinen — *Private*	0,3	5,7	48,0	39,5	6,3	0,2	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	0,2	3,7	44,8	47,1	4,1	0,1	100,0
Valtio — *State*	0,1	2,2	48,6	44,6	4,5	—	100,0
Muut — *Others*	0,5	3,6	28,0	53,4	14,5	—	100,0
	Alue 7 — *Area 7*						
Yksityinen — *Private*	0,5	3,6	42,5	48,5	4,8	0,1	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	—	3,4	40,6	48,5	7,5	—	100,0
Valtio — *State*	—	2,1	32,9	51,4	13,5	0,1	100,0
Muut — *Others*	—	4,5	50,0	40,1	5,4	—	100,0

Taulukko 7. Metsämaan jakaantuminen veroluokkiin (s. 7) omistajittain.
Table 7. Forest land by taxation classes (p. 79) and ownership categories.

Omistaja *Owner*	Veroluokka — *Taxation class*					Yhteensä *Total*
	I A	I B	II	III	IV	
	% alasta — % *of area*					
	Etelä-Suomi — *South Finland*					
Yksityinen — *Private*	21,3	30,8	25,3	15,4	7,2	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	8,8	27,2	34,8	18,7	10,5	100,0
Valtio — *State*	4,3	20,8	38,0	23,4	13,5	100,0
Muut — *Others*	17,0	27,2	27,6	18,4	9,8	100,0
Yhteensä — *Total*	18,6	29,6	27,2	16,5	8,1	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*					
Yksityinen — *Private*	3,5	20,4	41,4	22,4	12,3	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	2,5	20,0	44,6	18,9	14,0	100,0
Valtio — *State*	1,0	15,7	45,2	27,8	10,3	100,0
Muut — *Others*	1,2	22,9	36,0	25,1	14,8	100,0
Yhteensä — *Total*	2,2	18,3	43,1	24,9	11,5	100,0
	Koko maa — *Whole country*					
Yksityinen — *Private*	16,1	27,7	30,0	17,5	8,7	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	7,2	25,4	37,2	18,8	11,4	100,0
Valtio — *State*	1,6	16,5	44,0	27,1	10,8	100,0
Muut — *Others*	10,3	25,3	31,2	21,3	11,9	100,0
Yhteensä — *Total*	11,6	24,8	34,0	20,1	9,5	100,0

Taulukko 8. Metsämaan jakaantuminen veroluokkiin (s. 7) omistajittain osa-alueilla 1—7 (kuva 1).
Table 8. Forest land by taxation classes (p. 79) and ownership categories in sub-areas 1—7 (fig. 1).

Omistaja *Owner*	Veroluokka — *Taxation class*					Yhteensä *Total*
	I A	I B	II	III	IV	
	% alasta — % *of area*					
			Alue 1 — *Area 1*			
Yksityinen — *Private*	25,3	29,6	23,3	14,6	7,2	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	15,8	34,5	27,5	15,5	6,7	100,0
Valtio — *State*	9,6	25,6	29,3	23,8	11,7	100,0
Muut — *Others*	20,6	27,9	22,4	18,1	11,0	100,0
			Alue 2 — *Area 2*			
Yksityinen — *Private*	25,1	34,5	24,9	10,8	4,7	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	10,0	24,5	38,4	20,4	6,7	100,0
Valtio — *State*	4,5	28,7	42,2	19,3	5,3	100,0
Muut — *Others*	17,8	34,8	28,6	15,5	3,3	100,0
			Alue 3 — *Area 3*			
Yksityinen — *Private*	21,9	36,9	20,8	13,0	7,4	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	4,8	27,3	36,5	17,8	13,6	100,0
Valtio — *State*	1,3	18,9	45,3	19,1	15,4	100,0
Muut — *Others*	9,4	28,2	40,2	14,5	7,7	100,0
			Alue 4 — *Area 4*			
Yksityinen — *Private*	25,5	33,0	22,4	13,1	6,0	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	7,2	25,7	35,7	18,9	12,5	100,0
Valtio — *State*	4,1	18,5	34,0	26,2	17,2	100,0
Muut — *Others*	23,8	29,2	28,2	10,4	8,4	100,0
			Alue 5 — *Area 5*			
Yksityinen — *Private*	7,1	24,5	33,6	24,3	10,5	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	9,1	23,8	28,7	27,9	10,5	100,0
Valtio — *State*	2,4	14,2	37,5	34,1	11,8	100,0
Muut — *Others*	5,9	17,8	34,3	28,7	13,3	100,0
			Alue 6 — *Area 6*			
Yksityinen — *Private*	4,5	23,1	34,8	22,8	14,8	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	2,4	21,6	42,2	18,4	15,4	100,0
Valtio — *State*	1,0	24,9	42,1	19,6	12,4	100,0
Muut — *Others*	2,0	16,4	34,9	31,9	14,8	100,0
			Alue 7 — *Area 7*			
Yksityinen — *Private*	2,7	18,0	47,0	22,1	10,2	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	3,0	15,1	51,7	20,7	9,5	100,0
Valtio — *State*	1,1	12,6	46,2	30,6	9,5	100,0
Muut — *Others*	0,9	25,3	36,4	22,6	14,8	100,0

Taulukko 9. Soiden ojitustilanne omistajittain.
Table 9. Swamp drainage situation by ownership categories.

Omistaja *Owner*	Luonnontilassa *In natural state*	Ojikko *Ditched*	Muuttuma *Transforming*	Turvekangas *Transformed*	Yhteensä *Total*
	% turvemaan alasta — % *of peatland area*				
	Etelä-Suomi — *South Finland*				
Yksityinen — *Private*	34,7	24,9	28,4	12,0	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	35,2	28,9	27,6	8,3	100,0
Valtio — *State*	43,2	24,6	27,4	4,8	100,0
Muut — *Others*	42,6	20,0	25,9	11,5	100,0
Yhteensä — *Total*	36,1	25,1	28,0	10,8	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*				
Yksityinen — *Private*	56,9	21,2	18,0	3,9	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	50,2	29,5	17,3	3,0	100,0
Valtio — *State*	82,7	9,7	6,2	1,4	100,0
Muut — *Others*	71,8	16,0	9,9	2,3	100,0
Yhteensä — *Total*	69,3	16,0	12,1	2,6	100,0
	Koko maa — *Whole country*				
Yksityinen — *Private*	45,7	23,1	23,2	8,0	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	40,5	29,2	23,9	6,4	100,0
Valtio — *State*	77,7	11,6	8,9	1,8	100,0
Muut — *Others*	59,1	17,8	16,8	6,3	100,0
Yhteensä — *Total*	56,4	19,5	18,3	5,8	100,0

Taulukko 10. Soiden ojitustilanne omistajittain osa-alueilla 1—7 (kuva 1).
Table 10. Swamp drainage situation by ownership categories in sub-areas 1—7 (fig. 1).

Omistaja *Owner*	Luonnontilassa *In natural state*	Ojikko *Ditched*	Muuttuma *Transforming*	Turvekangas *Transformed*	Yhteensä *Total*
	% turvemaan alasta — % *of peatland area*				
	Alue 1 — *Area 1*				
Yksityinen — *Private*	32,7	24,2	27,1	16,0	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	26,7	25,2	25,9	22,2	100,0
Valtio — *State*	43,0	23,4	26,2	7,4	100,0
Muut — *Others*	38,0	25,5	20,9	15,6	100,0
	Alue 2 — *Area 2*				
Yksityinen — *Private*	33,4	23,4	31,3	11,9	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	18,1	24,0	46,2	11,7	100,0
Valtio — *State*	35,3	26,5	29,4	8,8	100,0
Muut — *Others*	21,8	15,2	47,8	15,2	100,0
	Alue 3 — *Area 3*				
Yksityinen — *Private*	30,8	29,1	28,0	12,1	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	50,3	26,1	22,0	1,6	100,0
Valtio — *State*	49,3	20,2	26,0	4,5	100,0
Muut — *Others*	28,2	15,4	38,5	17,9	100,0
	Alue 4 — *Area 4*				
Yksityinen — *Private*	32,3	25,6	32,0	10,1	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	34,3	32,5	26,3	6,9	100,0
Valtio — *State*	30,8	29,2	36,4	3,6	100,0
Muut — *Others*	62,5	19,6	12,5	5,4	100,0
	Alue 5 — *Area 5*				
Yksityinen — *Private*	38,7	24,2	26,5	10,6	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	25,3	29,9	27,6	17,2	100,0
Valtio — *State*	45,1	29,4	21,6	3,9	100,0
Muut — *Others*	48,6	17,0	26,9	7,5	100,0
	Alue 6 — *Area 6*				
Yksityinen — *Private*	46,3	25,8	21,2	6,7	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	39,4	33,1	23,0	4,5	100,0
Valtio — *State*	64,0	19,3	13,2	3,5	100,0
Muut — *Others*	53,9	24,2	16,3	5,6	100,0
	Alue 7 — *Area 7*				
Yksityinen — *Private*	67,6	16,6	14,7	1,1	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	68,7	25,7	5,3	0,3	100,0
Valtio — *State*	89,3	6,3	3,7	0,7	100,0
Muut — *Others*	84,1	10,5	5,1	0,3	100,0

Taulukko 11. Puulajien vallitsevuus metsämaalla omistajittain.
Table 11. Dominance of tree species on forest land by ownership categories.

Omistaja *Owner*	Puuton *Treeless*	Vallitseva puulaji *Dominant tree species*			Yhteensä *Total*
		Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Lehtipuut *Deciduous species*	
	% alasta — % *of area*				
	Etelä-Suomi — *South Finland*				
Yksityinen — *Private*	3,7	45,1	41,2	10,0	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	4,0	61,7	30,4	3,9	100,0
Valtio — *State*	2,6	70,1	24,0	3,3	100,0
Muut — *Others*	3,5	55,4	33,9	7,2	100,0
Yhteensä — *Total*	3,6	49,0	38,6	8,8	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*				
Yksityinen — *Private*	5,7	67,5	18,6	8,2	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	5,1	73,5	15,9	5,5	100,0
Valtio — *State*	3,6	72,9	18,5	5,0	100,0
Muut — *Others*	2,9	73,6	19,8	3,7	100,0
Yhteensä — *Total*	4,5	70,6	18,5	6,4	100,0
	Koko maa — *Whole country*				
Yksityinen — *Private*	4,2	51,7	34,6	9,5	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	4,3	64,7	26,7	4,3	100,0
Valtio — *State*	3,4	72,4	19,5	4,7	100,0
Muut — *Others*	3,3	63,1	27,9	5,7	100,0
Yhteensä — *Total*	4,0	58,2	30,0	7,8	100,0

Taulukko 12. Puulajien vallitsevuus metsämaalla omistajittain osa-alueilla 1—7 (kuva 1).
Table 12. Dominance of tree species on forest land by ownership categories in sub-areas 1—7 (fig. 1).

Omistaja *Owner*	Puuton *Treeless*	Vallitseva puulaji *Dominant tree species*			Yhteensä *Total*
		Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Lehtipuut *Deciduous species*	
	% alasta — % *of area*				
		Alue 1 — *Area 1*			
Yksityinen — *Private*	3,1	39,4	49,3	8,2	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	3,5	51,0	42,0	3,5	100,0
Valtio — *State*	2,1	63,5	30,3	4,1	100,0
Muut — *Others*	3,6	49,6	39,6	7,2	100,0
		Alue 2 — *Area 2*			
Yksityinen — *Private*	3,2	46,3	36,2	14,3	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	3,9	61,3	30,6	4,2	100,0
Valtio — *State*	1,5	56,3	37,0	5,2	100,0
Muut — *Others*	2,9	57,3	32,7	7,1	100,0
		Alue 3 — *Area 3*			
Yksityinen — *Private*	4,0	44,2	38,9	12,9	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	3,9	69,7	22,2	4,2	100,0
Valtio — *State*	4,0	75,6	18,6	1,8	100,0
Muut — *Others*	6,4	63,2	26,5	3,9	100,0
		Alue 4 — *Area 4*			
Yksityinen — *Private*	4,4	37,7	48,1	9,8	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	4,2	61,9	30,4	3,5	100,0
Valtio — *State*	1,8	69,7	25,2	3,3	100,0
Muut — *Others*	3,2	47,9	42,8	6,1	100,0
		Alue 5 — *Area 5*			
Yksityinen — *Private*	3,9	61,1	26,9	8,1	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	3,9	64,4	24,2	7,5	100,0
Valtio — *State*	1,6	80,0	13,9	4,5	100,0
Muut — *Others*	2,9	71,2	16,4	9,5	100,0
		Alue 6 — *Area 6*			
Yksityinen — *Private*	6,0	67,2	18,4	8,4	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	4,7	73,9	18,1	3,3	100,0
Valtio — *State*	4,3	71,4	21,3	3,0	100,0
Muut — *Others*	3,3	80,2	9,6	6,9	100,0
		Alue 7 — *Area 7*			
Yksityinen — *Private*	5,4	67,7	18,9	8,0	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	6,0	72,1	9,8	12,1	100,0
Valtio — *State*	3,4	73,4	17,6	5,6	100,0
Muut — *Others*	3,1	70,8	23,3	2,8	100,0

Taulukko 13. Metsän ikärakenne metsämaalla.
Table 13. Age structure of the forest on forest land.

Omistaja *Owner*	Puuton *Treeless*	Ikäluokka, vuotta — *Age class, years*								Yhteensä *Total*
		10	30	50	70	90	110	130	150+	
	% alasta — % *of area*									
	Etelä-Suomi — *South Finland*									
Yksityinen — *Private*	3,7	14,8	14,4	18,9	25,5	14,8	5,7	1,7	0,5	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	4,0	28,4	15,0	13,7	16,6	13,6	6,3	2,0	0,4	100,0
Valtio — *State*	2,6	25,2	16,8	14,2	10,9	10,3	8,8	6,3	4,9	100,0
Muut — *Others*	3,5	18,8	14,6	15,8	20,5	16,9	6,6	2,4	0,9	100,0
Yhteensä — *Total*	3,6	17,1	14,6	17,9	23,4	14,5	6,0	2,1	0,8	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*									
Yksityinen — *Private*	5,7	9,5	10,8	15,2	14,6	12,1	10,8	8,7	12,6	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	5,1	20,9	17,4	11,0	10,0	11,7	10,3	7,1	6,5	100,0
Valtio — *State*	3,6	11,3	9,0	10,5	8,2	6,5	7,9	7,8	35,2	100,0
Muut — *Others*	2,9	8,3	9,2	9,2	10,6	8,6	10,1	9,5	31,6	100,0
Yhteensä — *Total*	4,5	10,8	10,2	12,5	11,3	9,3	9,4	8,2	23,8	100,0
	Koko maa — *Whole country*									
Yksityinen — *Private*	4,2	13,3	13,3	17,8	22,3	14,0	7,2	3,8	4,1	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	4,3	26,7	15,8	12,8	14,9	13,0	7,3	3,3	1,9	100,0
Valtio — *State*	3,4	13,5	10,3	11,1	8,7	7,2	8,0	7,6	30,2	100,0
Muut — *Others*	3,3	14,2	12,2	13,7	16,1	13,4	8,0	5,4	13,7	100,0
Yhteensä — *Total*	4,0	14,4	12,7	15,6	18,2	12,3	7,5	4,7	10,6	100,0

Taulukko 14. Metsän ikärakenne metsämaalla omistajittain osa-alueilla 1—7 (kuva 1).
Table 14. Age structure of the forest on forest land by ownership categories in sub-areas 1—7 (fig. 1).

Omistaja *Owner*	Puuton *Treeless*	Ikäluokka, vuotta — *Age class, years*								Yhteensä *Total*
		10	30	50	70	90	110	130	150+	
	% alasta — % *of area*									
Alue 1 — *Area 1*										
Yksityinen — *Private*	3,1	11,3	15,8	18,3	26,6	16,6	5,9	1,8	0,6	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	3,5	23,2	19,0	11,8	17,7	16,4	5,6	2,0	0,8	100,0
Valtio — *State*	2,1	21,0	14,4	20,2	13,0	12,0	7,6	5,8	3,9	100,0
Muut — *Others*	3,6	14,0	15,9	16,9	21,0	18,0	6,6	2,9	1,1	100,0
Alue 2 — *Area 2*										
Yksityinen — *Private*	3,2	16,8	15,0	20,5	28,8	11,2	3,1	1,2	0,2	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	3,9	30,7	16,4	13,1	15,6	12,8	4,8	2,3	0,4	100,0
Valtio — *State*	1,5	20,1	20,1	8,6	13,5	18,1	10,7	7,0	0,4	100,0
Muut — *Others*	2,9	25,7	15,6	12,8	22,5	12,8	5,0	1,8	0,9	100,0
Alue 3 — *Area 3*										
Yksityinen — *Private*	4,0	19,5	12,7	18,3	25,2	13,2	4,4	2,2	0,5	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	3,9	30,1	13,9	13,9	17,7	9,2	7,5	3,4	0,4	100,0
Valtio — *State*	4,0	26,7	16,7	11,8	7,0	6,8	9,0	8,8	9,2	100,0
Muut — *Others*	6,4	27,6	15,0	6,7	15,0	18,4	5,9	4,2	0,8	100,0
Alue 4 — *Area 4*										
Yksityinen — *Private*	4,4	17,2	11,8	19,5	24,1	14,9	5,9	1,5	0,7	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	4,2	29,5	12,7	14,1	16,4	14,6	7,1	1,1	0,3	100,0
Valtio — *State*	1,8	31,8	15,1	13,9	11,8	12,5	8,4	3,3	1,4	100,0
Muut — *Others*	3,2	19,9	7,5	17,5	23,4	18,0	9,5	0,5	0,5	100,0
Alue 5 — *Area 5*										
Yksityinen — *Private*	3,9	14,2	14,8	18,1	22,8	15,5	8,1	2,2	0,4	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	3,9	18,8	21,5	18,8	14,5	16,9	2,8	2,1	0,7	100,0
Valtio — *State*	1,6	22,3	21,9	14,6	14,6	7,7	9,7	4,5	3,1	100,0
Muut — *Others*	2,9	21,4	15,1	17,9	17,9	15,8	5,9	2,4	0,7	100,0
Alue 6 — *Area 6*										
Yksityinen — *Private*	6,0	10,3	14,2	17,4	15,6	14,7	11,4	6,2	4,2	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	4,7	21,1	20,0	11,5	9,3	11,0	11,9	7,4	3,1	100,0
Valtio — *State*	4,3	18,2	15,0	10,4	6,6	8,0	11,4	9,9	16,2	100,0
Muut — *Others*	3,3	9,8	19,5	16,5	11,5	14,1	15,2	3,7	6,4	100,0
Alue 7 — *Area 7*										
Yksityinen — *Private*	5,4	8,8	7,9	13,3	13,9	9,9	10,3	10,7	19,8	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	6,0	20,9	9,4	9,6	11,6	14,3	5,3	6,0	16,9	100,0
Valtio — *State*	3,4	8,9	7,0	10,5	8,8	6,1	6,7	7,1	41,5	100,0
Muut — *Others*	3,1	7,7	5,7	6,4	10,3	6,6	8,0	11,5	40,7	100,0

Taulukko 15. Metsämaan metsiköiden kehitysluokat omistajittain.
Table 15. Development classes of the tree stands on forest land by ownership categories.

Omistaja *Owner*	Kehitysluokka — *Development class*								Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	% alasta — % *of area*								
	Etelä-Suomi — *South Finland*								
Yksityinen — *Private*	4,7	9,0	13,1	20,4	22,3	12,0	4,8	13,7	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	4,4	15,9	22,3	20,0	16,0	10,7	5,1	5,6	100,0
Valtio — *State*	2,9	13,8	24,0	20,5	11,8	13,4	4,0	9,6	100,0
Muut — *Others*	4,4	10,6	17,2	17,7	18,8	14,3	8,0	9,0	100,0
Yhteensä — *Total*	4,5	10,2	14,9	20,3	20,8	12,0	4,9	12,4	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*								
Yksityinen — *Private*	6,9	8,7	19,5	20,1	12,9	10,4	4,2	17,3	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	6,8	17,2	26,0	16,4	11,6	8,1	2,0	11,9	100,0
Valtio — *State*	5,1	9,4	17,5	13,5	9,7	18,4	6,1	20,3	100,0
Muut — *Others*	4,6	9,2	13,7	16,9	13,5	21,8	4,0	16,3	100,0
Yhteensä — *Total*	6,0	9,4	18,6	16,7	11,4	14,5	5,0	18,4	100,0
	Koko maa — *Whole country*								
Yksityinen — *Private*	5,4	8,9	15,0	20,3	19,5	11,5	4,6	14,8	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	5,0	16,3	23,2	19,1	14,9	10,0	4,4	7,1	100,0
Valtio — *State*	4,8	10,2	18,5	14,6	10,0	17,6	5,7	18,6	100,0
Muut — *Others*	4,5	10,0	15,8	17,3	16,5	17,5	6,3	12,1	100,0
Yhteensä — *Total*	5,2	9,8	16,5	18,7	16,7	13,1	5,0	15,0	100,0

1 = Aukea uudistusala tai siemenpuusto — *Open area or seed tree stand.*
2 = Pieni taimisto — *Small seedling stand.*
3 = Taimisto tai riukuasteen metsikkö — *Seedling or sapling stand.*
4 = Nuori kasvatusmetsikkö — *Young thinning stand.*
5 = Varttunut kasvatusmetsikkö — *Thinning stand in advanced state.*
6 = Uudistuskypsä metsikkö — *Mature stand.*
7 = Suojuspuumetsikkö — *Shelterwood stand.*
8 = Vajaatuottoinen metsikkö — *Low-yielding stand.*

Taulukko 16. Metsämaa ja puusto kehitysluokittain (taul. 15) ja omistajittain osa-alueilla 1—7 (kuva 1).
Table 16. Forest land and growing stock by development classes (table 15) and ownership categories in sub-areas 1—7 (fig. 1).

Omistaja *Owner*	Tunnus *Characteristic*		Kehitysluokka *Development class* 1	2	3	4	5	6	7	8	Yhteensä *Total*
							Alue 1 — *Area 1*				
Yksityinen — *Private*	Pinta-ala — *Area*	%	4,6	6,3	13,1	19,5	21,7	13,7	7,2	13,9	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	1,8	3,5	8,3	17,2	21,0	21,0	11,9	11,4	14,7
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	11,5	23,8	47,4	106,1	163,7	175,1	96,7	76,3	106,8
Osakeyhtiö — *Company*	Pinta-ala — *Area*	%	4,3	15,1	19,3	16,2	17,8	14,3	7,9	5,1	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	0,3	1,4	5,5	17,0	21,2	21,7	10,5	11,9	12,4
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	2,2	9,0	27,9	103,4	169,5	191,2	91,5	82,9	92,3
Valtio — *State*	Pinta-ala — *Area*	%	2,6	10,4	20,6	24,1	15,9	13,3	5,3	7,8	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	0,9	0,8	5,5	14,0	19,8	21,9	12,2	13,2	12,1
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	7,0	6,0	27,5	84,3	148,4	184,3	97,2	99,0	85,9
Muut — *Others*	Pinta-ala — *Area*	%	5,0	8,6	15,6	17,3	19,9	15,1	9,3	9,2	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	1,1	2,8	6,3	14,9	18,9	20,4	11,5	12,1	13,0
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	8,1	20,3	34,7	91,5	145,0	177,6	90,5	82,5	96,1
							Alue 2 — *Area 2*				
Yksityinen — *Private*	Pinta-ala — *Area*	%	4,1	10,6	11,9	18,2	23,9	11,4	4,2	15,7	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	1,1	3,5	6,2	17,8	21,9	21,1	10,6	12,8	14,6
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	8,0	23,8	35,2	114,1	178,8	185,4	89,9	90,1	110,7
Osakeyhtiö — *Company*	Pinta-ala — *Area*	%	4,6	16,8	22,9	16,9	16,7	10,1	5,8	6,2	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	0,5	1,5	4,4	15,3	19,9	20,5	9,6	9,3	10,4
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	3,5	11,4	20,2	91,3	162,4	172,9	82,7	64,2	76,2
Valtio — *State*	Pinta-ala — *Area*	%	2,1	12,7	18,5	14,4	18,3	20,0	4,2	9,8	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	0,4	2,3	4,3	16,4	21,5	24,2	13,7	12,3	14,2
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	1,7	15,6	22,7	101,1	171,7	216,9	125,9	88,4	111,5
Muut — *Others*	Pinta-ala — *Area*	%	2,9	17,3	16,5	15,3	12,3	15,4	10,9	9,4	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	•	3,1	4,1	19,2	19,9	20,5	10,3	12,3	12,5
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	·	21,6	22,7	118,9	163,1	182,3	91,5	87,0	96,5

			Alue 3 — *Area 3*							
Yksityinen — *Private*	Pinta-ala — *Area*	%	4,4	12,8	13,2	19,0	22,4	12,1	2,2	13,9	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	1,4	2,5	4,7	15,5	21,3	21,5	11,4	11,6	13,3
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	7,6	14,4	22,6	94,3	160,3	174,6	91,4	74,5	93,4
Osakeyhtiö — *Company*	Pinta-ala — *Area*	%	4,2	17,2	23,4	19,8	15,2	11,7	2,8	5,7	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	0,9	0,8	3,3	14,2	20,9	21,3	10,7	8,0	10,1
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	4,0	5,2	15,0	80,7	157,4	172,6	83,6	48,0	69,2
Valtio — *State*	Pinta-ala — *Area*	%	4,1	14,4	26,8	17,9	7,2	14,1	3,1	12,4	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	0,5	0,6	2,7	10,2	17,1	22,1	8,2	19,6	9,6
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	1,8	3,4	12,0	56,6	121,5	173,2	70,6	144,6	66,6
Muut — *Others*	Pinta-ala — *Area*	%	6,3	10,7	23,1	12,8	23,4	12,5	4,8	6,4	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	·	0,5	3,9	11,5	20,8	18,0	7,1	11,3	9,9
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	·	1,9	16,5	69,6	164,5	138,5	63,5	73,0	69,7
			Alue 4 — *Area 4*							
Yksityinen — *Private*	Pinta-ala — *Area*	%	5,2	10,8	11,7	19,9	23,6	11,5	3,2	14,1	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	1,4	2,4	5,0	16,3	20,8	21,2	10,7	11,8	13,5
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	8,6	14,5	25,3	96,8	155,4	172,2	86,4	77,9	94,7
Osakeyhtiö — *Company*	Pinta-ala — *Area*	%	4,4	16,1	21,7	22,5	16,0	9,3	5,0	5,0	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	1,0	0,8	3,6	13,3	18,8	20,2	10,3	9,2	9,8
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	5,3	4,8	15,6	73,6	136,4	167,3	81,4	54,4	65,3
Valtio — *State*	Pinta-ala — *Area*	%	2,0	16,8	25,5	23,2	10,4	10,4	3,9	7,8	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	1,2	0,7	3,3	12,1	18,4	21,8	10,4	11,2	8,9
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	7,0	3,9	14,6	68,7	130,5	185,0	77,4	74,8	59,3
Muut — *Others*	Pinta-ala — *Area*	%	3,3	10,1	13,6	18,4	21,4	19,0	6,2	8,0	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	·	3,1	6,1	17,8	20,1	21,0	13,5	12,3	14,2
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	·	16,3	28,6	105,9	154,2	176,6	112,8	82,8	103,4
			Alue 5 — *Area 5*							
Yksityinen — *Private*	Pinta-ala — *Area*	%	4,9	8,5	15,3	25,1	20,3	10,0	4,5	11,4	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	0,9	1,2	4,4	13,7	19,5	19,1	9,1	11,0	11,7
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	5,1	6,2	20,9	75,8	132,3	138,5	64,6	62,1	73,4
Osakeyhtiö — *Company*	Pinta-ala — *Area*	%	4,4	6,5	32,4	26,9	9,3	8,6	4,5	7,4	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	2,8	0,7	3,7	11,5	24,3	19,2	8,1	11,5	10,0
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	12,9	2,4	15,3	62,9	169,4	132,2	53,3	57,5	59,2

Taulukko 16. (jatkoa) — *Table 16. (cont.)*

Omistaja *Owner*	Tunnus *Characteristic*		Kehitysluokka — *Development class* 1	2	3	4	5	6	7	8	Yhteensä *Total*
Valtio — *State*	Pinta-ala — *Area*	%	1,8	15,6	24,5	20,8	14,1	11,2	3,9	8,1	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	1,3	1,2	3,2	12,2	16,7	17,7	13,6	12,6	9,3
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	7,2	6,7	14,9	64,2	116,2	131,9	91,7	73,0	57,8
Muut — *Others*	Pinta-ala — *Area*	%	4,1	11,0	22,0	22,1	17,1	9,1	4,9	9,7	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	1,7	0,6	3,9	12,6	18,5	18,1	10,4	8,5	9,6
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	13,1	3,9	19,4	67,2	125,9	132,3	75,7	48,8	59,5
			Alue 6 — *Area 6*								
Yksityinen — *Private*	Pinta-ala — *Area*	%	7,2	8,2	21,6	23,6	14,4	8,0	4,0	13,0	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	0,8	1,4	4,1	12,7	19,3	19,7	7,3	10,1	9,9
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	4,9	7,8	16,7	64,8	125,6	136,6	53,5	53,3	57,1
Osakeyhtiö — *Company*	Pinta-ala — *Area*	%	5,9	16,5	30,2	16,2	14,4	9,2	1,7	5,9	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	0,8	0,4	2,8	10,6	18,6	17,3	8,2	8,8	7,5
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	4,7	2,5	11,0	52,5	126,2	123,7	61,0	50,8	45,7
Valtio — *State*	Pinta-ala — *Area*	%	5,1	13,6	24,0	10,7	12,7	18,2	2,1	13,6	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	0,7	0,7	2,7	11,0	18,5	21,4	5,8	13,7	10,0
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	4,5	4,4	11,9	58,0	123,8	150,0	46,1	87,4	64,4
Muut — *Others*	Pinta-ala — *Area*	%	4,8	10,9	25,9	18,9	10,8	11,8	6,1	10,8	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	0,3	1,1	3,7	10,6	16,0	19,1	8,8	9,4	9,1
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	1,7	6,9	13,6	53,4	111,6	135,4	65,4	44,0	53,8
			Alue 7 — *Area 7*								
Yksityinen — *Private*	Pinta-ala — *Area*	%	6,7	9,0	17,7	17,0	11,6	12,4	4,4	21,2	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	1,1	1,2	3,3	9,7	13,5	15,3	6,0	8,9	8,0
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	5,4	6,6	16,0	48,4	87,6	104,3	41,1	50,7	47,6
Osakeyhtiö — *Company*	Pinta-ala — *Area*	%	9,5	19,4	14,6	16,3	4,3	4,0	3,1	28,8	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	1,4	0,2	3,8	6,4	11,9	18,8	4,3	10,1	6,1
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	7,6	1,4	17,2	32,6	88,3	121,8	30,0	60,2	35,8
Valtio — *State*	Pinta-ala — *Area*	%	5,2	8,1	15,4	14,4	8,6	18,4	7,4	22,5	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	0,9	1,6	3,6	8,2	12,4	11,8	6,1	9,1	7,7
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	5,3	9,0	18,8	42,7	80,2	78,0	41,7	53,4	46,5
Muut — *Others*	Pinta-ala — *Area*	%	4,3	8,6	8,8	16,1	15,0	25,5	3,1	18,6	100,0
	Pohjapinta-ala — *Basal area*	m²/ha	1,5	1,1	2,9	9,3	16,3	14,6	6,0	10,5	10,2
	Keskikuutio — *Mean volume*	m³/ha	7,9	6,7	13,3	48,0	117,4	98,2	38,5	65,0	65,8

Taulukko 17. Puuston kokonaiskuutiomäärä kuorineen omistajittain osa-alueilla 1—7 (kuva 1).
Table 17. Volume of the total growing stock, over bark, by ownership categories in sub-areas 1—7 (fig. 1).

Puulaji *Tree species*	Yksityinen *Private*	Osakeyhtiö *Company*	Valtio *State*	Muut *Others*	Yhteensä *Total*	
	% kuutiomäärästä — % *of volume*					milj.m³ *mill.m³*
			Alue 1 — *Area 1*			
Mänty — *Pine*	82,4	5,1	5,7	6,8	100,0	135,3
Kuusi — *Spruce*	85,6	5,4	3,6	5,4	100,0	179,4
Lehtipuut — *Dec.sp.*	86,2	3,6	4,2	6,0	100,0	53,2
Yhteensä — *Total*	84,5	5,0	4,5	6,0	100,0	367,9
			Alue 2 — *Area 2*			
Mänty — Pine	82,4	9,8	4,5	3,3	100,0	94,6
Kuusi — *Spruce*	83,1	9,6	4,0	3,3	100,0	66,6
Lehtipuut — *Dec.sp.*	90,0	4,8	3,0	2,2	100,0	44,9
Yhteensä — *Total*	84,3	8,6	4,1	3,0	100,0	206,1
			Alue 3 — *Area 3*			
Mänty — Pine	58,7	18,6	19,9	2,8	100,0	50,4
Kuusi — *Spruce*	71,0	12,7	14,1	2,2	100,0	41,0
Lehtipuut — *Dec.sp.*	78,4	10,7	9,9	1,0	100,0	23,3
Yhteensä — *Total*	67,1	14,9	15,8	2,2	100,0	114,7
			Alue 4 — *Area 4*			
Mänty — *Pine*	72,1	18,2	6,2	3,5	100,0	76,0
Kuusi — *Spruce*	82,0	12,3	2,9	2,8	100,0	108,6
Lehtipuut — *Dec.sp.*	84,1	10,2	3,4	2,3	100,0	38,1
Yhteensä — *Total*	79,0	13,9	4,1	3,0	100,0	222,7
			Alue 5 — *Area 5*			
Mänty — *Pine*	89,5	1,5	4,9	4,1	100,0	68,2
Kuusi — *Spruce*	93,4	2,1	1,9	2,6	100,0	52,7
Lehtipuut — *Dec.sp.*	90,6	2,0	3,3	4,1	100,0	25,8
Yhteensä — *Total*	91,1	1,8	3,5	3,6	100,0	146,7
			Alue 6 — *Area 6*			
Mänty — Pine	55,3	7,6	33,6	3,5	100,0	98,5
Kuusi — *Spruce*	49,1	8,8	40,4	1,7	100,0	56,9
Lehtipuut — *Dec.sp.*	60,4	5,4	31,8	2,4	100,0	30,2
Yhteensä — *Total*	54,2	7,6	35,4	2,8	100,0	185,6
			Alue 7 — *Area 7*			
Mänty — Pine	33,5	1,1	59,1	6,3	100,0	162,5
Kuusi — *Spruce*	40,9	1,7	50,1	7,3	100,0	62,5
Lehtipuut — *Dec.sp.*	39,6	1,4	53,5	5,5	100,0	50,8
Yhteensä — *Total*	36,3	1,3	56,0	6,4	100,0	275,8

Taulukko 18. Suurin kestävä suunnite ja sen jakaantuminen puutavaralajeittain piirimetsälautakuntien alueilla v. 1977.
Table 18. Greatest allowable drain on sustained yield basis and by timber assortments in Forestry Board Districts in 1977.

Alue *District*	Suunnite *Allowable drain*				Kertymäsuunnite *Allowable removals*								Metsätähde *Forest waste*	Hakkuusuunnite *Allowable cuttings*	Luonnonpoistuma *Mortality*	Suojelu-vähennys *Nature conservation reduction*
					Tukki *Saw log*				Kuitupuu *Pulp wood*							
	Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Lehtip. *Dec.sp.*	Yht. *Total*	Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Lehtip. *Dec.sp.*	Yht. *Total*	Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Lehtip. *Dec.sp.*	Yht. *Total*				
	1 000 m³ kuorellista runkopuuta — *1 000 m³ of stem wood over bark*															
0. Ahvenanmaa	120	110	70	300	59	40	1	100	57	65	53	175	15	290	·	10
1. Helsinki	550	760	460	1 770	293	373	53	719	213	325	336	874	111	1 704	6	60
2. Lounais-Suomi	730	940	370	2 040	377	422	33	832	316	461	299	1 076	106	2 014	6	20
3. Satakunta	730	1 170	500	2 400	366	550	34	950	335	550	415	1 300	131	2 381	9	10
4. Uusimaa-Häme	550	1 740	610	2 900	378	963	157	1 498	140	679	382	1 201	163	2 862	8	30
5. Pirkka-Häme	900	2 030	640	3 570	539	1 098	129	1 766	315	810	436	1 561	190	3 517	13	40
6. Itä-Häme	850	1 570	850	3 270	574	833	230	1 637	229	646	523	1 398	196	3 231	9	30
7. Etelä-Savo	1 460	1 380	1 230	4 070	980	647	362	1 989	403	632	748	1 783	266	4 038	12	20
8. Etelä-Karjala	1 090	1 180	610	2 880	684	531	157	1 372	344	563	389	1 296	182	2 850	10	20
9. Itä-Savo	1 070	840	890	2 800	713	385	249	1 347	305	401	547	1 253	183	2 783	7	10
10. Pohjois-Karjala	1 730	1 700	1 260	4 690	981	737	275	1 993	574	764	812	2 150	417	4 560	100	30
11. Pohjois-Savo	1 160	2 570	1 630	5 360	688	1 160	344	2 192	393	1 175	1 066	2 634	495	5 321	19	20
12. Keski-Suomi	1 560	2 180	1 250	4 990	905	1 093	262	2 260	563	954	815	2 332	350	4 942	18	30
13. Etelä-Pohjanmaa ...	1 300	950	700	2 950	540	381	47	968	666	519	499	1 684	275	2 927	13	10
14. Vaasa	370	630	500	1 500	185	249	33	467	160	339	344	843	164	1 474	6	20
15. Keski-Pohjanmaa ..	720	460	600	1 780	222	160	20	402	435	275	442	1 152	205	1 759	11	10
Etelä-Suomi — *South Finland*	14 890	20 210	12 170	47 270	8 484	9 622	2 386	20 492	5 448	9 158	8 106	22 712	3 449	46 653	247	370
16. Kainuu	1 650	1 160	750	3 560	806	332	5	1 143	633	645	528	1 806	403	3 352	128	80
17. Pohjois-Pohjanmaa .	1 340	630	910	2 880	381	139	20	540	810	394	649	1 853	381	2 774	86	20
18. Koillis-Suomi	940	660	500	2 100	385	162	·	547	358	267	330	955	218	1 720	140	240
19. Lappi	2 100	950	1 250	4 300	669	194	10	873	737	476	764	1 977	447	3 297	563	440
Pohjois-Suomi — *North Finland*	6 030	3 400	3 410	12 840	2 241	827	35	3 103	2 538	1 782	2 271	6 591	1 449	11 143	917	780
Koko maa — *Whole country*	20 920	23 610	15 580	60 110	10 725	10 449	2 421	23 595	7 986	10 940	10 377	29 303	4 898	57 796	1 164	1 150

Taulukko 19. Metsiköiden laatu metsämaalla omistajittain.
Table 19. Quality of tree stands on forest land by ownership categories.

Omistaja *Owner*	Kehityskelpoiset — *Capable of development*					Vajaatuottoiset — *Low-yielding*					Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	Yhteensä *Total*	5	6	7	8	Yhteensä *Total*	
	% alasta — % *of area*										
	Etelä-Suomi — *South Finland*										
Yksityinen — *Private*	22,6	43,5	11,9	6,2	84,2	5,2	5,8	0,4	4,4	15,8	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	37,5	42,7	8,9	3,7	92,8	2,2	2,4	0,2	2,4	7,2	100,0
Valtio — *State*	32,0	42,4	9,2	5,5	89,1	2,4	2,8	4,2	1,5	10,9	100,0
Muut — *Others*	30,4	44,5	10,1	4,8	89,8	3,1	3,1	0,6	3,4	10,2	100,0
Yhteensä — *Total*	25,1	43,4	11,4	5,8	85,7	4,6	5,1	0,6	4,0	14,3	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*										
Yksityinen — *Private*	23,4	37,0	10,9	8,2	79,5	7,9	5,4	2,8	4,4	20,5	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	28,5	39,6	11,4	4,6	84,1	5,8	3,3	2,3	4,5	15,9	100,0
Valtio — *State*	22,7	36,8	12,0	6,3	77,8	5,8	4,6	8,7	3,1	22,2	100,0
Muut — *Others*	23,8	36,6	12,9	8,6	81,9	3,2	4,3	7,7	2,9	18,1	100,0
Yhteensä — *Total*	23,3	37,0	11,5	7,2	79,0	6,6	4,9	5,8	3,7	21,0	100,0
	Koko maa — *Whole country*										
Yksityinen — *Private*	22,8	41,6	11,6	6,8	82,8	6,0	5,7	1,1	4,4	17,2	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	35,2	42,0	9,5	4,0	90,7	3,1	2,6	0,7	2,9	9,3	100,0
Valtio — *State*	24,2	37,7	11,5	6,2	79,6	5,2	4,3	8,0	2,9	20,4	100,0
Muut — *Others*	27,6	41,1	11,3	6,4	86,4	3,2	3,6	3,6	3,2	13,6	100,0
Yhteensä — *Total*	24,4	40,6	11,4	6,4	82,8	5,5	5,0	2,8	3,9	17,2	100,0

1 = Hyvä — *Good.*
2 = Tyydyttävä — *Satisfactory.*
3 = Vajaapuustoinen — *Under-stocked.*
4 = Hoitamaton — *Silvicultural measure neglected.*
5 = Jätemetsikkö — *Residual stand.*
6 = Kasvupaikalle väärä puulaji — *Tree species unsuitable for site.*
7 = Yli-ikäinen — *Over-aged.*
8 = Muu uusittava — *Other regeneretable.*

Taulukko 20. Metsikön perustamistapa metsämaalla.
Table 20. Stand establishment method on forest land.

Omistaja *Owner*	Perustamistapa — *Establishment method* 1	2	3	4	5	6	Yhteensä viljely-metsä *Total artificial establish-ments*
	1 000 ha ja % alasta — *1 000 ha and % of area*						
	Etelä-Suomi — *South Finland*						
Yksityinen — *Private*	8 001	99	49	5	703	29	786
	90,1	1,1	0,5	0,1	7,9	0,3	8,8
Osakeyhtiö — *Company*	917	1	3	—	253	4	260
	77,8	0,1	0,3	—	21,5	0,3	22,1
Valtio — *State*	617	2	2	—	143	1	146
	80,8	0,3	0,2	—	18,6	0,1	18,9
Muut — *Others*	411	2	2	·	59	1	62
	86,4	0,4	0,4	0,1	12,5	0,2	13,2
Yhteensä — *Total*	9 946	104	56	5	1 158	35	1 254
	88,0	0,9	0,5	·	10,3	0,3	11,1
	Pohjois-Suomi — *North Finland*						
Yksityinen — *Private*	3 483	21	4	1	210	2	217
	93,6	0,6	0,1	·	5,6	0,1	5,8
Osakeyhtiö — *Company*	334	1	2	—	59	—	61
	84,3	0,3	0,5	—	14,9	—	15,4
Valtio — *State*	3 665	1	3	1	288	2	294
	92,6	·	0,1	·	7,3	·	7,4
Muut — *Others*	331	1	·	—	16	1	17
	94,8	0,3	·	—	4,6	0,3	4,9
Yhteensä — *Total*	7 813	24	9	2	573	5	589
	92,7	0,3	0,1	·	6,8	0,1	7,0
	Koko maa — *Whole country*						
Yksityinen — *Private*	11 484	120	53	6	913	31	1 003
	91,1	1,0	0,4	·	7,2	0,3	7,9
Osakeyhtiö — *Company*	1 251	2	5	—	312	4	321
	79,5	0,1	0,3	—	19,8	0,3	20,4
Valtio — *State*	4 282	3	5	1	431	3	440
	90,6	0,1	0,1	·	9,1	0,1	9,3
Muut — *Others*	742	3	2	·	75	2	79
	90,0	0,4	0,2	·	9,1	0,3	9,6
Yhteensä — *Total*	17 759	128	65	7	1 731	40	1 843
	90,0	0,7	0,3	·	8,8	0,2	9,3

1 = Luontainen siemennys tai puuton — *Natural seeding or treeless.*
2 = Luontainen siemennys maatalousmaalle — *Natural seeding on agricultural land.*
3 = Viljely maatalousmaalla — *Artificial establishment on agricultural land.*
4 = Epäonnistunut viljely maatalousmaalla — *Artificial establishment failed on agricultural land.*
5 = Viljely metsämaalla — *Artificial establishment on forest land.*
6 = Epäonnistunut viljely metsämaalla — *Artificial establishment failed on forest land.*

Taulukko 21. Viimeisestä hakkuusta kulunut aika metsämaalla omistajittain.
Table 21. Time from the last cut on forest land by ownership categories.

Omistaja *Owner*	Alle 1 v. *Under 1 y.*	1 v. —*y.*	2—5 v. —*y.*	6—10 v. —*y.*	11—30 v. —*y.*	31+ v. —*y.*	Yht. *Total*
	% alasta — % *of area*						
	Etelä-Suomi — *South Finland*						
Yksityinen — *Private*	0,5	6,0	16,2	19,9	50,4	7,0	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	0,7	4,8	8,9	21,9	58,7	5,0	100,0
Valtio — *State*	0,4	3,5	8,6	17,1	55,9	14,5	100,0
Muut — *Others*	0,3	3,2	13,1	19,3	57,0	7,1	100,0
Yhteensä — *Total*	0,5	5,6	14,8	19,9	51,9	7,3	100,0
	Pohjois-Suomi — *North Finland*						
Yksityinen — *Private*	0,3	3,2	10,1	13,8	42,4	30,2	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	0,3	3,0	5,5	17,4	52,8	21,0	100,0
Valtio — *State*	0,4	1,8	6,0	8,7	34,2	48,9	100,0
Muut — *Others*	·	2,3	5,4	10,3	45,6	36,4	100,0
Yhteensä — *Total*	0,3	2,5	7,8	11,4	39,2	38,8	100,0
	Koko maa — *Whole country*						
Yksityinen — *Private*	0,4	5,2	14,4	18,1	48,0	13,9	100,0
Osakeyhtiö — *Company*	0,6	4,4	8,1	20,7	57,2	9,0	100,0
Valtio — *State*	0,4	2,1	6,4	10,1	37,7	43,3	100,0
Muut — *Others*	0,3	2,8	9,8	15,4	52,1	19,6	100,0
Yhteensä — *Total*	0,4	4,3	11,8	16,3	46,4	20,8	100,0

»Alle 1 v.» tarkoittaa inventointikesänä 31. 5. jälkeen suoritettuja hakkuita — »*Under 1 y.*» *means cutting realised during the inventory summer after 31. 5.*

»1 v.» tarkoittaa inventointikesää edeltäneen vuoden 1. 6.—31. 5. aikana suoritettuja hakkuita — »*1 y.*» *means cutting realised during the year 1. 6.—31. 5. before inventory summer.*

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*
Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17
Ylijohtaja — *Director:* Holopainen, Viljo, 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:* Lähde, Erkki, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Mälkönen, Eino, MMT, *DF*

SUONTUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF PEATLAND FORESTRY*
Professori — *Professor:* Huikari, Olavi, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Paavilainen, Eero, MMT, *DF*

METSÄNHOIDON TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SILVICULTURE*
Professori — *Professor: vacant*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Leikola, Matti, MMT, *DF*

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: vacant*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Kärkkäinen, Matti, 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, ylimetsänhoitaja, *BF*

HALLINTOTOIMISTO — *ADMINISTRATION OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Sohkanen, Kari, VT, *LL.B*

ISSN 0026-1610

187905499P