METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

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

61

HELSINKI 1967

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

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

61

HELSINKI 1967

COMMUNICATIONES

INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

61

61.1 Paavilainen, Eero, 1966. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämemännikön juurisuhteisiin. *Summary:* On the effect of drainage on root systems of Scots pine on peat soils ..... 1—110

61.2 Kuusela, Kullervo, 1966. A basal area-mean tree method in forest inventory. *Seloste:* Pohjapinta-alakeskipuumenetelmä metsäninventoinnissa ..... 1— 32

61.3 Mäkinen, Veikko O., 1966. Metsälöiden tunnusten vaihtelu Etelä-Pohjanmaan ja Vaasan metsänhoitolautakuntien alueella. *Summary:* Variation of the characteristics of forests in forestry board districts of Etelä-Pohjanmaa and Vaasa ..... 1— 36

61.4 Viro, P. J., 1966. Kangasmaan taimiston lannoitus. *Summary:* Manuring of young plantations ..... 1— 30

61.5 Hakkila, Pentti, 1966. Investigations on the basic density of finnish pine, spruce and birch wood. *Seloste:* Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä ..... 1— 98

61.6 Paavilainen, Eero, 1966. Istutettujen männyn taimien juuriston ensi kehityksestä tupasvillarämeellä. *Summary:* Initial development of root systems of Scots pine transplants in an *Eriophorum vaginatum* swamp ..... 1— 17

61.7 Aro, Paavo & Rikkonen, Pentti, 1966. Havusahatukkien latvamuotoluvut. *Summary:* Top form factors of softwood saw logs .. 1— 77

61.8 Huikari, Olavi & Paarlahti, Kimmo & Paavilainen, Eero & Ravela, Heikki, 1966. Sarkaleveyden ja ojasyvyyden vaikutuksesta suon vesitalouteen ja valuntaan. *Summary:* On the effect of strip-width and ditch-depth on water economy and runoff on a peat soil ..... 1— 39

MAAN VESITALOUDEN JÄRJESTELYN VAIKUTUKSESTA RÄMEMÄNNIKÖN JUURISUHTEISIIN

EERO PAAVILAINEN

ON THE EFFECT OF DRAINAGE ON ROOT SYSTEMS OF SCOTS PINE ON PEAT SOILS

SUMMARY

HELSINKI 1966

Helsinki 1966. Valtioneuvoston kirjapaino

Alkusanat

Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston toimesta on usean vuoden ajan suoritettu tutkimuksia metsäojituksen edullisimman sarkaleveyden ja ojasyvyyden selvittämiseksi tarkoitusta varten maamme eri osiin perustetuilla koekentillä. Kirjoittajan tehtävänä on tällöin ollut puiden juurisuhteiden tutkiminen. Nyt julkaistava tutkimus käsittää pääosan tuloksista, jotka olen saanut selvittäessäni rämemänniköiden juurisuhteita Parkanossa, Vilppulassa ja Rovaniemellä sijaitsevilla koekentillä.

Olen saanut professori Olavi Huikarilta työni kaikissa vaiheissa suuriarvoista tukea ja hyödyllisiä neuvoja. Hän on myös luovuttanut käyttööni em. koekentillä tehtyjen puiden kasvua ja kasvutekijöitä koskevien tutkimusten julkaisemattomia tuloksia. Olen hänelle tästä kaikesta kiitollinen.

Opettajani, professori Leo Heikuraisen tutkimusta kohtaan alusta pitäen osoittama myötämielinen kiinnostus ja hänen antamansa arvokkaat ohjeet ja neuvot ovat ratkaisevasti edistäneet työtäni. Esitän hänelle parhaat kiitokseni. Samoin pyydän kiittää professoreita Peitsa Mikolaa ja Risto Sarvasta siitä, että he ovat tutustuneet tutkimukseen ja antaneet sitä koskevia varteenotettavia neuvoja.

Maat.- ja metsät. lisensiaatti Kimmo Paarlahdella on huomattava osuus koekenttien suunnittelu- ja perustamistöissä, joten hän on ollut mukana luomassa edellytyksiä tämän tutkimuksen syntymiselle. Häneltä samoin kuin maat.- ja metsät. lisensiaatti Erkki Nummiselta, kenttämestari Eero Pelkoselta ja metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston muulta henkilökunnalta olen saanut eri tavoin apua tutkimusta suorittaessani. Kenttätöissä ovat lähimmät apulaiseni olleet metsänhoitaja Pentti Hauturi ja metsäteknikko Matti Mäkitalo. Tilastomatemaattisissa kysymyksissä ovat minua opastaneet maat.- ja metsät. maisteri Pentti Kanerva ja metsänhoitaja Sakari Salminen. Fil. maisteri Marja Liisa Heino on tarkastanut käsikirjoituksen suomenkielisen asun. Englanninkielisen lyhennelmän ovat kääntäneet metsänhoitaja K.-J. Ahlsved ja herra R. Milton. Professori T. Ewald Maki on lukenut käännöksen ja tehnyt

siihen varteenotettuja korjauksia. Kuvat on piirtänyt rakennusmestari Jorma Karhiaho. Kiitän heitä kaikkia sekä tutkimusapulaisiani Pohjois-Satakunnan metsäkoeasemalla. Osoitan kiitokseni myös metsäntutkimuslaitokselle, joka on ottanut tutkimukseni julkaisusarjaansa.

Parkanossa, lokakuun 15 päivänä 1965.

Eero Paavilainen

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1. Johdanto 7
   11. Aikaisemmat tutkimukset 7
   12. Tutkimuksen tarkoitus ja suuntaviivat 8
2. Tutkimusmenetelmät 11
   21. Juuristotutkimukset 11
      211. Käytetty menetelmä 11
      212. Menetelmän luotettavuus 13
   22. Muut tutkimukset 19
3. Aineisto 22
   31. Ojasyvyyskoekentät 22
      311. Vilppulan Jaakkoinsuo 22
      312. Kivalon Sattasuo 26
   32. Sarkaleveyskoekentät 30
      321. Parkanon Liesneva 30
      322. Vilppulan Jaakkoinsuo 38
      323. Rovaniemen Mortti 39
4. Tulokset 42
   41. Juurten kokonaismäärä 43
   42. Juurten syvyysjakaantuminen 50
   43. Juurten paksuusjakaantuminen 59
   44. Lyhytjuurten kokonaismäärä 63
   45. Lyhytjuurten syvyysjakaantuminen 66
   46. Mykoritsasuhteet 71
   47. Juuriston rakenne ja puuston kasvu 76
5. Tulosten tarkastelua 85
6. Yhdistelmä 90

Kirjallisuus 93

Summary 100

1. JOHDANTO

11. Aikaisemmat tutkimukset

Luonnontilaisilla soilla sekä soistuneilla tai muutoin veden vaivaamilla kankailla kasvavien puiden juuristojen rakennetta on selvitetty lukuisissa tutkimuksissa (mm. Melin 1917, Kokkonen 1923, Multamäki 1923, Laitakari 1927, Rigg ja Harrar 1931, Laing 1932, Malmström 1935, Ladefoged 1938, 1939, Björkman 1942, Kalela 1946, Heikurainen 1955 a, 1955 b, Paarlahti ja Vartiovaara 1958, Holstener-Jørgensen 1958, 1959, Orlov 1960, Fraser 1962, Zgurovskaja 1963, Holmen 1964). Tutkimustulokset osoittavat, että juurten vallassa oleva maakerros on ko. kasvupaikoilla yleensä varsin ohut ja että tässä pintakerroksessa yksityiset juuret kasvavat vaakasuorassa suunnassa pitkiksi ja vähähaaraisiksi. Nekin puulajit, joille on ominaista syvälle ulottuvan paalujuuren muodostus, kasvattavat ojittamattomilla soilla pääasiassa pinnallista vaakajuuristoa. Lyhytjuurista on huomattava osa ns. pseudomykoritsoja (Melin 1917, Malmström 1935, Björkman 1941, 1942, Heikurainen 1955 a, 1955 b).

Ojituksen vaikutuksesta juuristo syvenee, kuten mm. Kokkonen (1923), Multamäki (1923) ja Laitakari (1927) ovat todenneet yksittäisten puiden juuristoja tutkimalla. Multamäki ja Laitakari esittävät ojituksen toisaalta vähentävän juurten pituuskasvua, toisaalta taas lisäävän juurten haaroittumista. Juuriverkko on sen vuoksi ojitetuilla soilla tiheämpi kuin ojittamattomilla. Ruotsissa on Melin (1917) tullut samaan tulokseen muutamaa vuotta aikaisemmin suorittamissaan tutkimuksissa. Hän on tutkinut myös lyhytjuuria ja todennut ojittamattomien soiden puilla olevan runsaasti pseudomykoritsoja, kun taas varsinaisten mykoritsojen määrä kasvaa ojituksen vaikutuksesta. Myös Malmströmin (1935) ja Björkmanin (1941, 1942) tutkimusten mukaan ojitus lisää varsinaisten mykoritsojen määrää. Heikuraisen (1955 b) esittämät tulokset, samalla kun ne tukevat aikaisempiin tutkimuksiin perustuvia käsityksiä, valaisevat ensi kerran ojituksen vaikutusta metsikön juuristoon kokonaisuudessaan. Heikurainen (m.t.) osoittaa juuriston syvenevän ja juur-

ten kokonaismäärän kasvavan ojituksen vaikutuksesta. Hänen mukaansa myös lyhytjuurten määrä lisääntyy kuivatuksen johdosta, joskaan tiheyden muutokset eivät ole suuria. Mykoritsasuhteet muuttuvat siten, että varsinaisten mykoritsojen suhteellinen osuus kasvaa ja pseudomykoritsojen osuus vähenee.

Pääpuulajiemme juuristoja koskevista vertailevista tutkimuksista ilmenee, että koivun juuristo ulottuu turvemaalla syvemmälle ja on määrältään runsaampi kuin männyn ja kuusen (mm. Laitakari 1934, Heikurainen 1958, 1961, Zgurovskaja 1963). Maximov'in (sit. Zgurovskaja 1963) ja Orlovin (1960) mukaan koivu sietää paremmin kuin havupuut anaerobisia olosuhteita kasvualustassa, minkä seikan myös Huikarin (1954, 1959 a) tutkimukset osoittavat.

Aikaisemmat tutkimukset ovat antaneet runsaasti soiden metsätaloudellisen hyväksikäytön kannalta tarpeellisia tietoja puiden juuristoista. Niissä ei ole kuitenkaan selvitetty, mikä vaikutus kuivatuksen tehokkuudella on juurisuhteiden kehitykseen. Ei myöskään ole tutkittu, onko juuristojen rakenteessa ja ojituksen jälkeisessä kehityksessä alueellisia eroja maassamme. Näiden kysymysten selvittäminen on välttämätöntä, kun pyritään ratkaisemaan, minkälainen ojitus johtaa metsänkasvatuksen kannalta parhaaseen tulokseen maamme eri osissa.

12. Tutkimuksen tarkoitus ja suuntaviivat

Tässä tutkimuksessa on pyritty selvittämään, miten kuivatuksen tehokkuus vaikuttaa rämemännikön juurisuhteiden kehitykseen. Erityisesti on tutkittu,

— miten juurisuhteet muuttuvat ja mihin syvyyteen asti maanpinnasta lukien muutoksia tapahtuu,

— mikä vaikutus kuivatuksesta kuluneella ajalla on juurisuhteiden muuttumiseen sekä

— onko juuristoissa ja puuston kasvussa maan vesitalouden järjestelyn johdosta ilmenevien reaktioiden välillä korrelaatiota.

Edelleen on tutkittu,

— onko kuivatuksen vaikutus rämemännikön juurisuhteisiin sama vai erilainen eri ilmastoalueilla.

Maan vesitalouden järjestelyllä aikaansaadun kuivatustehon mittana on käytetty tässä tutkimuksessa, kuten useissa aikaisemmissakin tutkimuksissa (mm. Multamäki 1936, Lukkala 1946, Heikurainen 1955 b, Huikari 1959 c, Meshechok 1960, Holstener-Jørgensen 1961), maanpinnan ja pohjavesipinnan välistä etäisyyttä (pohjaveden korkeutta). Vaikkakaan pohjaveden korkeus ei ole suoranainen juuristoihin vai-

kuttava kasvutekijä, voidaan sitä kuitenkin pitää varsin sopivana maan vesitalouden tunnuksena tutkittaessa vesitalouden järjestelyn vaikutusta rämemännikön juuristoon. Pohjavesipintahan on, joskaan ei selvä vesipitoisuusraja (esim. Zunker 1930, Ekström 1938, Heikurainen, Päivänen ja Sarasto 1964), se taso, jossa maaveden jännitys saavuttaa 0-arvon (Richards 1941, Heinonen 1954, Rode 1959, Burke 1961). Kun maan koko huokostila on tässä tasossa veden täyttämä, muodostaa pohjavesipinta rajan, jota syvemmälle mentäessä olosuhteet maassa ovat, veden ollessa heikosti liikkuvaa, joko kokonaan tai osaksi anaerobiset (Hesselman 1910 b, Romell 1922, Malmström 1923, Isotalo 1951, Paarlahti ja Vartiovaara 1958, Paarlahti 1961). Vähähappisen veden muodostaman pohjavesipinnan alapuolella tulevat jatkuvasti toimeen vain mm. eräiden ruohojen ja heinämäisten kasvien juuristot,jotka saavat elintoiminnoilleen välttämättömän hapen ilmanvaihtoa edistävän tuuletussolukon avulla (vrt. Osvald 1918, Metsävainio 1931, Linkola ja Tiirikka 1936). Tärkeimmillä suomalaisilla puulajeilla ei ole vastaavia rakenteellisia ominaisuuksia, joskin koivu pystynee kuljettamaan jossakin määrin happea juuristoonsa (Maximov, sit. Zgurovskaja 1963, Huikari 1954, 1959 a, Orlov 1960). Havupuiden juuret joutuvat sen sijaan ottamaan tarvitsemansa hapen kasvuympäristöstä. Tämän takia niiden toimeentuloa rajoittaa pohjavesipinnan alla vallitseva hapen puute, ja pohjaveden korkeus osoittaa yleensä juurten käytettävissä olevan potentiaalisen kasvutilan. Myös pintaturpeen vesipitoisuus ja ilmatila, jotka vaikuttavat sekä välittömästi että välillisesti juurten kasvu- ja toimintaedellytyksiin, ovat korrelaatiossa pohjaveden korkeuden kanssa (mm. Wäre 1947, Eggelsmann 1957, Paavilainen 1963 b, Heikurainen, Päivänen ja Sarasto 1964).

Pohjaveden korkeuden on katsottu olevan hyvä perusta myös käytännön ojitustekniikkaa koskeville johtopäätöksille. Niinpä esim. Venäjällä (Pjavtshenko ja Sabo 1962) ja Norjassa (Meshechok 1960) on pyritty selvittämään ns. kuivatusnormit eli ne syvyydet, joihin pohjavesipinta olisi alennettava erilaisissa olosuhteissa, jotta ojitus johtaisi puuston kasvun kannalta parhaaseen tulokseen. Suomessa on Heikurainen (1964) pitänyt vastaavasti tarpeellisena ns. optimikuivatussyvyyden selvittämistä eri suotyypeillä ja puulajeilla. Tämän edullisimman kuivatussyvyyden perusteella on mahdollista teoreettisesti ratkaista kulloinkin parhaaseen tulokseen johtava sarkaleveyden ja ojasyvyyden yhdistelmä (vrt. Heikurainen, Päivänen ja Sarasto 1964, Heikurainen 1964). On kuitenkin todettava, että ojitus aiheuttaa pohjavesipinnan alentumisen lisäksi muitakin tärkeitä muutoksia suon vesitaloudessa ja että pohjaveden korkeus vaihtelee huomattavasti eri vuosina ja vuodenaikoina sateiden ja haihtumisen vaikutuksesta (mm. Lukkala 1946, Heikurainen

1963). Tämän takia on välttämätöntä, että pohjaveden korkeuden nojalla tehtävien päätelmien tueksi optimikuivatusta selvitellään myös sellaisten kenttäkokeiden perusteella, joissa on käytetty erilaisia sarkaleveyksiä ja ojasyvyyksiä. Suomen oloissa on erityisen tarpeellista tutkia, mitä muutoksia tapahtuu puiden kasvuedellytyksissä ja kasvussa erilevyisiin sarkoihin ojitettaessa, sillä ojatiheydellä on todettu olevan metsäojituksessa tärkeämpi merkitys kuin ojien syvyydellä, mikäli ojat täyttävät kunnossa pysymisen kannalta välttämättömät minimimitat (vrt. Huikari 1953 a, 1959 c, 1960, 1964, Heikurainen 1957 a, 1957 b).

Edellä esitettyjen näkökohtien mukaan on tässä tutkimuksessa pyritty valaisemaan kuivatuksen vaikutusta rämemännikön juuristoon tutkimalla juurisuhteiden kehityksen riippuvuutta

a) erisuuruisesta pohjavesipinnan alentamisesta ja

b) sarkaleveydestä.

Tutkimusalueina ovat metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston toimesta perustetut vesitaloudelliset koekentät Etelä- ja Pohjois-Suomessa (kuva 2, s. 23).

Tutkimuksessa selvitellään puiden välikohdissa olevasta juuriston osasta pitkäjuurten kokonaismäärää, paksuusjakaantumista ja syvyysjakaantumista sekä lyhytjuurten määrää ja syvyysjakaantumista Kalelan (1949, 1954, 1955) ja Heikuraisen (1955 a, 1955 b) kehittämää kvantitatiivisen juuristotutkimuksen menetelmää käyttäen. Myös lyhytjuurten mykoritsasuhteita on tutkittu. Lisäksi on selvitetty, onko juuriston rakenteen ja puuston kasvun välillä vuorosuhdetta tutkimusalueilla.

2. TUTKIMUSMENETELMÄT

21. Juuristotutkimukset

211. Käytetty menetelmä

Muun muassa Laitakarin (1927) ja Kalelan (1949) esittämistä katsauksista ilmenee, että aikanaan yleisesti käytettyjä menetelmiä metsäpuiden juuristotutkimuksissa ovat olleet astia- ja taimitarhakokeet, eri-ikäisten puiden juuristojen kaivaminen ja kartoittaminen sekä piirroksilla kuvaaminen, juurien päiden lukeminen kuoppien reunoista sekä kokonaisten puuryhmien ja metsiköidenkin juuristojen paljastaminen ja kartoittaminen. Mutta kuten Kalela (1949, ss. 14—15) esittää, näillä menetelmillä on lähes mahdotonta selvittää juuristojen hienoimpia osia erityisesti silloin, kun tutkitaan kokonaisten metsiköiden juuristoja. Tämän takia Kalela (1949) on päätynyt männiköiden ja kuusikoiden juuristosuhteita koskevassa tutkimuksessaan menetelmään, jossa juuret erotellaan seulomista käyttäen $\frac{1}{4}$ m²:n suuruisilta ruuduilta otetuista maanäytteistä. Myöhemmin Kalela (1954, 1955) on käyttänyt näytteiden ottoon poikkileikkauspinta-alaltaan 1 dm²:n suuruista rautasylinteriä. Saksassa on Grosskopf (1950) esittänyt metsiköiden juuristojen hennoimpien osien tutkimista varten vastaavanlaisen menetelmän, jossa juuret erotellaan poikkileikkauspinta-alaltaan 20 cm × 20 cm:n kokoisista näytteistä.

Edellä mainittua tutkimusmenetelmää, joka perustuu tietyn suuruisessa maanäytteessä olevien juurten erotteluun ja mittaamiseen, on Heikurainen (1955 a, 1955 b) edelleen kehittänyt turvemailla kasvavien metsiköiden juuristotutkimuksia varten. Käsillä olevassa tutkimuksessa on sovellettu tätä Heikuraisen (1955 b, ss. 14—20) esittämää menetelmää, joka osoittautui kenttäoloissa käytännölliseksi ja aikaa säästäväksi. Sen avulla oli mahdollista tallettaa hienoimmatkin näytteissä olleet juuret mittauksia varten.

Osa näytteistä otettiin suon pintaosista näytteenottolaitteella, jolla voitiin irrottaa poikkileikkauspinta-alaltaan 10 cm × 10 cm:n suuruinen turvekappale. Pintanäytteet otettiin 20 cm:n tai 30 cm:n pituisina ja jaettiin karikkeiden ja elävän sammalkerroksen poistamisen jälkeen pinnasta lähtien 5 cm:n pituisiin näyteosiin, minkä jälkeen näyteosat siirrettiin muovipusseihin tai

käärittiin pergamiinipaperiin. Syvemmältä otettavia näytteitä varten tehtiin ensin apukuoppa tai -oja, jonka seinämästä voitiin irrottaa näyte 50 cm:n syvyyteen asti. Syvältä otetut näytteet jaettiin näyteosiin samoin kuin pintanäytteet.

Vuonna 1963 suoritetuissa tutkimuksissa siirryttiin käyttämään poikkileikkauspinta-alaltaan 4 cm × 5 cm:n suuruista näytteenottolaitetta. Näytteiden jako 5 cm:n pituisiin osiin tapahtui samoin kuin edellä on esitetty. Uudella näytteenottolaitteella saavutettiin aikaisemmin käytettyyn nähden mm. se etu, että näyte voitiin ottaa ilman apukuoppaa tai -ojaa suon pinnasta 50 cm:n syvyyteen asti.

Juuristonäytteet tutkittiin laboratoriossa. Ne näytteet, joita ei voitu välittömästi tutkia, säilytettiin 5-prosenttisessa formaliiniliuoksessa (vrt. Heikurainen 1955 b, s. 16) tai jääkellarissa, jossa näytteiden säilytyslämpötila oli n. 0° C. Vuodesta 1964 lähtien oli näytteiden säilytykseen käytettävissä myös pakastekaappi.

Tutkittava näyteosa asetettiin tiheäsilmäiselle seulalle ja huuhdottiin aluksi vedellä. Jäljelle jäänyt karkeahko aines tarkastettiin yksityiskohtaisesti laakeissa maljoissa erottelemalla pinseteillä kaikki näytteissä tavatut juuret turvemassasta. Elossa olevien männyn juurien erottaminen muista juurista tapahtui tarpeen mukaan stereomikroskooppia apuna käyttäen. Elävien ja kuolleiden männyn juurien erottelussa otettiin huomioon ne näkökohdat, jotka Heikurainen (1955 a, s. 11) on esittänyt. Männyn juurien tuntemiseen perehdyttiin jo ennen tämän työn aloittamista tutkimalla useita erilaisilta männyn kasvupaikoilta otettuja juuristonäytteitä.

Kaikkien näytteissä tavattujen elävien männyn juurien pituus mitattiin seuraavia paksuusluokkia käyttäen: alle 1 mm, 1—2 mm ja yli 2 mm. Yksityisen juuren pituus mitattiin 1 cm:n tarkkuudella.

Jokaisesta juuristonäytteestä selvitettiin esitetyllä tavalla paksuusluokittain 0—5 cm:n, 5—10 cm:n, 10—15 cm:n jne. syvyydessä olleiden männyn pitkäjuurien määrä.

Myöhemmin tulosten esittelyn yhteydessä mainittavien näytteiden kaikista mitatuista pitkäjuurista laskettiin lyhytjuurten lukumäärä. Jokainen kärki luettiin erikseen, kuten esim. Heikurainen (1955 b, s. 19) on tehnyt. Lyhytjuurten lukumäärän perusteella laskettiin lyhytjuurten tiheys pitkäjuurten pituusyksikköä kohden. Laskennassa otettiin pitkäjuurista huomioon vain alle 1 mm:n paksuiset juuret, koska lyhytjuuria tavattiin harvaa poikkeusta lukuunottamatta vain tähän paksuusluokkaan kuuluvissa pitkäjuurissa.

Mykoritsasuhteita tutkittiin pääasiassa lyhytjuurten ulkoasun perusteella stereomikroskooppia apuna käyttäen. Koska kirjallisuudessa kuvattujen erilaisten mykoritsatyyppien (mm. Melin 1917, 1923, 1927, Björkman 1941, 1942) erottelu on lyhytjuurten ulkoasun perusteella jonkin verran epä-

varmaa (vrt. Mikola ja Laiho 1962, ss. 5—6), tyydyttiin selvittämään vain muista lyhytjuurista verraten selväpiirteisesti poikkeavien ns. »hyvien» mykoritsojen määrä. Näillä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa haarattomia tai haaroittuneita, vaaleita ja paksuhkoja lyhytjuuria, jotka jo makroskooppisesti voitiin varmasti todeta mykoritsoiksi. »Hyvinä» mykoritsoina pidettiin siis sellaisia lyhytjuuria, joista Mikolan ja Laihon (1962) tutkimuksessa käytetään nimitystä »good A mycorrhizae».

Vuosina 1964 ja 1965 otetuista näytteistä selvitettiin mykoritsasuhteita mikrotomileikkeiden perusteella. Valmisteet tehtiin Mikolan ja Persidskyn (1951) esittämällä menetelmällä. Mikroskooppisessa tutkimuksessa katsottiin lyhytjuuren olevan »hyvä» mykoritsa, jos sekä mykoritsasienen juuren ympärille muodostama vaippa että kuorikerroksen soluväleissä oleva ns. Hartigin verkko olivat hyvin kehittyneet ja jos vaipanmuodostus oli voimakas. Ne lyhytjuuret, joissa ei ollut lainkaan vaippaa eikä Hartigin verkkoa ja jotka eivät siten olleet varsinaisia mykoritsoja, erotettiin omaksi ryhmäkseen.

Nimenomaan »hyvien» mykoritsojen määrän selvittäminen katsottiin tarpeelliseksi siitä syystä, että sen tyyppisten mykoritsojen runsas esiintyminen on ominaista hyville kasvupaikoille (mm. Melin 1927, Björkman 1942, Bergemann 1955, Mikola ja Laiho 1962). »Hyvien» mykoritsojen ja muiden lyhytjuurien keskinäisiä runsaussuhteita tutkimalla voitiin näin ollen saada lisäselvitystä tämän tutkimuksen kannalta tärkeään kysymykseen, minkälaiseksi suo muuttuu puiden kasvualustana maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta.

212. Menetelmän luotettavuus

Vaikka puiden juuret ovat levittäytyneet sulkeutuneessa metsikössä varsin tasaisesti (esim. Aaltonen 1920, Polansky 1936, Kalela 1949, Heikurainen 1955 a, 1955 b), on tulosten tavanomaisiin tilastomatemaattisiin merkitsevyyslukuihin perustuvaa vertailua varten otettava runsaasti näytteitä. Näytteiden lukumäärän vaikutusta juurten määrää koskevien tulosten luotettavuuteen tarkastellaan seuraavassa perusvarianssin perusteella, joka on saatu Liesnevan tutkimusalueen näytealojen 1—4 ja 7—10 (vrt. s. 37) näytteissä (poikkileikkauspinta-ala 10 cm × 10 cm) olleiden pitkäjuurten määrästä suoritetun varianssianalyysin tuloksena. Saatu perusvarianssi osoittaa juurten määrän hajonnan suuruutta, tässä tapauksessa kasvualustan vesitalouden ja puuston suhteen tasalaatuisilla koealoilla. Varianssianalyysiä varten on aluksi varmistuttu siitä, ettei eri näytealojen yksityisten näytteiden juurimäärillä ollut näytealan sisäistä korrelaatiota. Kun näytteiden juurimäärien hajonta muodosti keskiarvoihin nähden vinon

jakautuman, suoritettiin aineistossa logaritminen transformaatio (J e f f e r s 1960, ss. 18—77).

Perusvarianssista voidaan laskea, kuinka suuri on kahden juurten määrän keskiarvon tilastollisesti merkitsevä erotus siinä tapauksessa, että hajonta on yhtä suuri kuin Liesnevan tutkimusalueen näytealoilla 1—4 ja 7—10. Jos esimerkiksi kahdelta näytealalta otetaan kummaltakin neljä näytettä, on merkitsevä erotus (logaritmiasteikossa) $\pm$ 0.3893, sillä

1) perusvarianssista tulee keskihajonnaksi $s_{log} = 0.225$,

2) kahden neljän näytteen erän erotuksen keskivirhe on

$$\varepsilon_{A-B} = \sqrt{0.1125^2 + 0.1125^2} = 0.1591 \text{ ja}$$

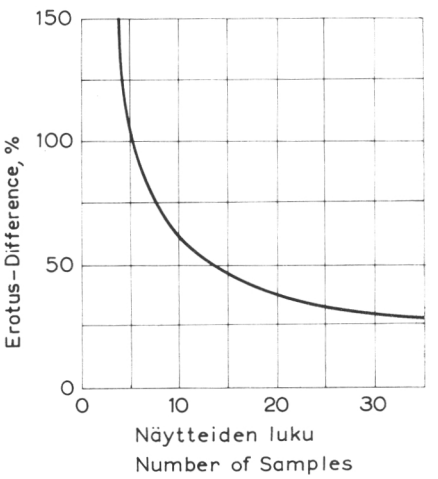
3) merkitsevä erotus on kahden keskiarvon välillä (luotettavuus 95 %, $f = 6$) $(A\text{-}B)_{95\,\%} = 2.447 \times 0.1591 = \pm 0.3893$

Suorittamalla vastaava laskelma erilaisia näytemääriä koskevana, voidaan selvittää, miten tilastollisesti merkitsevä erotus on riippuvainen näytteiden lukumäärästä. Tämä riippuvuussuhde nähdään kuvasta 1, jossa esitetään vertailun helpottamiseksi, montako % suurempi on toisen kahdesta keskiarvosta oltava otettaessa erilaisia näytemääriä (yhtä paljon kummaltakin näytealalta), jotta keskiarvojen erotus olisi merkitsevä 95 %:n luotettavuudella.

Kuvasta havaitaan, että keskiarvojen erotuksen täytyy olla varsin suuri ollakseen tilastollisesti merkitsevä, jos otetaan vähän näytteitä. Merkitsevä erotus pienenee näytteiden luvun kasvaessa aluksi jyrkästi, mutta n. 10 näytteen erästä lähtien jo loivemmin. Kuvasta nähdään myös, että erotuksen on oltava verraten suuren käytettäessä suuriakin näytemääriä. Niinpä, jos kahdelta koealalta kummaltakin otetaan 30 näytettä, tulee suuremman juurimäärän keskiarvon olla vielä n. 130 % pienemmästä, jotta keskiarvojen erotus olisi merkitsevä 95 %:n luotettavuudella.

Esitetystä ilmenee, että metsiköiden juurimäärien selvittely tarkastelun kohteena olevalla tutkimusmenetelmällä vaatii suuren näyteaineiston. Näytteiden vähimmäismääränä lienee pidettävä 10 kpl koealaa kohden. Tulosten perusteella voidaan edelleen päätellä, että juurimäärien vertailu on pelkkien keskiarvolukujen perusteella epävarmaa, vaikka ne olisi laskettu laajastakin aineistosta. Sen vuoksi tässä tutkimuksessa on selvitetty kussakin yksityistapauksessa erikseen, sikäli kuin se on ollut mahdollista, keskiarvoerojen tilastollinen luotettavuus.

Edellä tarkasteltiin tutkimusmenetelmän luotettavuutta siinä tapauksessa, että juuristonäytteet otetaan poikkileikkauspinta-alaltaan 10 cm $\times$



Kuva 1. Kahden pitkäjuurten määrästä lasketun keskiarvon tilastollisesti merkitsevän erotuksen riippuvuus näytteiden luvusta. Selostus tekstissä.

Figure 1. The manner in which a statistically significant difference between two means calculated from the amounts of long roots depends on the number of samples. Discussion in the text.

10 cm:n suuruisina. Kun tässä tutkimuksessa on otettu myös poikkileikkauspinta-alaltaan 4 cm × 5 cm:n kokoisia näytteitä, herää kysymys, kuinka paljon näytekoon pienentäminen vähentää menetelmän luotettavuutta.

Sellaista erillistä tutkimusta, jossa olisi verrattu kumpaakin mainittua näytekokoa käytettäessä saatuja tuloksia samaan aikaan ja samalta koealalta otettujen näytteiden perusteella, ei ole suoritettu, mutta kysymystä voidaan tarkastella Liesnevan tutkimusalueen näytealoilla I—V ja VII (vrt. s. 30) tehtyjen tutkimusten nojalla. Näytealoilta I—V otettiin näytteet v. 1962 poikkileikkauspinta-alaltaan 10 cm × 10 cm:n ja v. 1963 4 cm × 5 cm:n suuruisina. Näytealalta VII otettujen näytteiden koko oli v. 1961 10 cm × 10 cm ja v. 1963 4 cm × 5 cm.

Taulukosta 1 nähdään pitkäjuurten määrän keskiarvo ja keskihajonta Liesnevan tutkimusalueen näytealoilla I—V ja VII. Laskelmat suoritettiin 0—20 cm:n kerroksessa olleiden juurten määrän perusteella, koska suurin osa poikkileikkauspinta-alaltaan 10 cm × 10 cm:n kokoisista näytteistä otettiin vain tähän syvyyteen asti. Juuria oli kuitenkin 20 cm:ä syvemmällä niin vähän eri näytealoilla, ettei niiden määrä vaikuta tulosten vertailukelpoisuuteen.

Juurten määrän keskiarvon keskihajonnan mittalukujen suora vertailu ei anna oikeata kuvaa näytekoon vaikutuksesta juurten määrän hajonnan suuruuteen näytealoilla I—V ja VII. Pitkäjuurten määrästä lasketut keskiarvot ovat nimittäin olleet tutkimusvuosina erisuuruisia, ja niinkuin edellä todettiin ja myös taulukosta 1 selviää, juurten määrän keskiarvon kasvaessa hajontakin kasvaa. Sen vuoksi suoritettiin aineistoissa logaritminen transformaatio (tulokset muunnettiin sitä ennen samaa maan pinta-alayksikköä koskeviksi). Molemmista aineistoista laskettiin sen jälkeen perus-

Taulukko 1. Pitkäjuurten määrän (m/m²) keskiarvo ($\bar{x}$) ja keskihajonta (s) Liesnevan tutkimusalueen näytealoilla I—V ja VII, kun näytteiden poikkileikkauspinta-ala on 10 cm × 10 cm ja 4 cm × 5 cm.

Table 1. The mean ($\bar{x}$) and standard deviation (s) of the amount of long roots (m/sq.m) in sample plots I—V and VII at Liesneva when the cross-section area of the samples is 10 cm × 10 cm and 4 cm × 5 cm.

Näyteala *Sample plot*	Näytteen poikkileikkauspinta-ala 100 cm² *Cross-section area of sample 100 sq.cm*			Näytteen poikkileikkauspinta-ala 20 cm² *Cross-section area of sample 20 sq.cm*		
	Näytteitä, kpl *Number of samples*	$\bar{x}$	s	Näytteitä, kpl *Number of samples*	$\bar{x}$	s
I	16	590	453	20	672	450
II	16	351	134	20	814	425
III	18	509	200	20	1 022	575
IV	18	404	238	20	601	306
V	10	304	130	20	367	205
VII	20	224	98	20	419	264

varianssit ja niistä edelleen keskihajonnat, jolloin saatiin seuraavan asetelman luvut.

	Näytteen poikkileikkauspinta-ala *Cross-section area of sample*	
	10 cm × 10 cm	4 cm × 5 cm
s_{log}	0.244	0.273

Keskihajonta oli 10 cm × 10 cm:n näytekokoa käytettäessä todennäköisesti kasvualustan ja puuston epätasaisuuden vuoksi suurempi kuin Liesnevan tutkimusalueen homogeenisilla näytealoilla 1—4 ja 7—10 (viimeksi mainituilla näytealoilla keskihajonta oli $s_{log} = 0.225$). Näytekoon pienentäminen on asetelman mukaan lisännyt verraten vähän hajontaa. Keskihajonnoista voidaan laskea, että juurimäärän keskiarvon keskivirhe on likipitäen sama otettaessa 10 kpl 10 cm × 10 cm:n kokoista tai 13 kpl 4 cm × 5 cm:n kokoista näytettä.

Esitettyjen tulosten valossa on ilmeistä, että käytetyn tutkimusmenetelmän luotettavuuteen juurten määrää koskevissa selvityksissä vaikuttaa näytteiden luku tuntuvasti voimakkaammin kuin niiden koko, kun verrataan keskenään 10 cm × 10 cm:n ja 4 cm × 5 cm:n näytekokoja. Näytteitä, joiden poikkileikkauspinta-ala on 4 cm × 5 cm, voidaan taas tutkia saman ajan kuluessa huomattavasti enemmän kuin 10 cm × 10 cm:n suuruisia näytteitä, sillä näytekoon pienentyessä vähenee yksityistä näytettä kohden tarvittava työmäärä ainakin kolmanteen osaan. Saman työmenekin puitteissa on siis mahdollista lisätä juurten määrää koskevien tutkimustulosten luotettavuutta käyttämällä näytteitä, joiden poikkileikkauspinta-ala on pienempi

kuin 10 cm × 10 cm, ja lisäämällä vastaavasti näytteiden lukumäärää. Tässä tutkimuksessa koealaa koskevat keskiarvot on yleensä laskettu 20 näytteen perusteella, jos näytteiden poikkileikkauspinta-ala on ollut 4 cm × 5 cm. Pienillä koealoilla on tyydytty 12 näytteeseen.

Käytetty tutkimusmenetelmä antanee luotettavia tuloksia juuriston syvyydestä jo suhteellisen pienen näytemäärän perusteella, sillä esim. heikosti kuivuneella suolla juuret ovat suurimmaksi osaksi aivan suon pintaosissa, ja ne tuskin voivat satunnaisista syistä kasvaa syvälle turpeeseen. Menetelmällä ei tosin saada aivan tarkalleen selvitetyksi, kuinka syvälle juuristo ulottuu, koska juuret erotellaan 5 cm:n vahvuisista näyteosista. Tässä tutkimuksessa *juuriston alarajana* pidetään sen syvimmän maakerroksen alarajaa, jossa eläviä männyn juuria on todettu vähintään yhdessä koealalta otetussa näytteessä.

Selvitettäessä juuriston syvyysjakaantumista tarkastelun kohteena olevalla tutkimusmenetelmällä, on juuriston syvyyttä kuvaavana tunnuksena käytetty juurten pituudella punnittua keskisyvyyttä (mm. Kalela 1949, Heikurainen 1955 b). Tällä tavoin lasketun keskisyvyyden perusteella on eräissä tapauksissa vaikeaa saada oikea kuva maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta juuriston syvyyteen. Jos esim. juurten määrä on lisääntynyt suon pintaosissa ojituksen vaikutuksesta suhteellisesti enemmän kuin syvällä turpeessa, saadaan juuriston syvyys pienemmäksi kuin ennen ojitusta, vaikka juuria olisikin levittäytynyt entistä syvempiin kerroksiin. Tästä syystä juuriston syvyyden tunnuksena on käsillä olevassa tutkimuksessa käytetty *juuriston keskimääräistä syvyysulottuvuutta*, joka saadaan yhtälöstä

$$D = \frac{\sum_{1}^{n} d}{n},$$

jossa D = juuriston keskimääräinen syvyysulottuvuus koealalla
d = juuriston syvyys yksityisessä näytteessä
n = koealalta otettujen näytteiden luku

Juuriston syvyytenä yksityisessä näytteessä pidettiin sen maakerroksen alarajaa, jossa juuria todettiin olevan, kuitenkin vähintään 1 % näytteen kokonaisjuurimäärästä. Tämä rajoitus katsottiin tarpeelliseksi sen vuoksi, ettei juuriston keskimääräinen syvyysulottuvuus olisi riippuvainen niin vähäisistä juurimääristä, joilla ei todennäköisesti ole merkitystä metsikön elintoimintojen kannalta.

Esitetyllä tavalla laskettu juuriston keskimääräinen syvyysulottuvuus on riippumaton suon pintaosassa olevien juurten määrästä. Juuriston keskimääräinen syvyysulottuvuus muuttuu ainoastaan siinä tapauksessa, että

juuria tunkeutuu entistä syvempiin kerroksiin tai syvällä olevia juuria kuolee. Koska juuriston syvyyttä osoittavat luvut yksityisissä näytteissä on laskettu sen maakerroksen alarajan mukaan, jossa juuria vielä on ollut, saadaan juuriston keskimääräinen syvyysulottuvuus todellista suuremmaksi. Tulosten vertailukelpoisuuteen ei tällä virheellä liene mainittavaa vaikutusta.

Näytekoon pienentäminen lisää juuriston syvyysjakaantumista koskevien tulosten virhemahdollisuutta siitä syystä, että mitä pienempi näyte on, sitä enemmän voi tuloksiin vaikuttaa esim. näytteenotossa mahdollinen turpeen kokoonpuristuminen tai näytteiden näyteosiin jaossa tullut mitta- tms. virhe. Tämä virhemahdollisuus otettiin huomioon kenttätöissä, ja poikkileikkauspinta-alaltaan 4 cm × 5 cm:n suuruiset näytteet otettiin hyvin huolellisesti.

Sisätöissä esiintyvistä virhemahdollisuuksista on mainittava, että kun näytteitä huuhdotaan vedellä, niistä saattaa irrota ja poistua juuria. Heikuraisen (1955 a, ss. 44—46) tutkimusten mukaan pitkäjuurten huuhtoutuminen on hyvin vähäistä varovaisessa vesihuuhtelussa. Myöskään lyhytjuurten huuhtoutuminen ei aiheuta mainittavaa virhettä tuloksiin, koska näytteistä irtoavat lyhytjuuret ovat etupäässä kuolleita. Tutkimusmenetelmä on siis antanut tässä suhteessa keskenään vertailukelpoisia tuloksia, jotka eivät paljon poikenne absoluuttisistakaan arvoista (Heikurainen 1955 b, s. 18). Tässä tutkimuksessa näytteiden huuhtelu suoritettiin samaan tapaan kuin Heikurainen (1955 a, 1955 b) on esittänyt, joskin vähän karkeammin. Siitä syystä juurten huuhtoutuminen on saattanut olla hieman voimakkaampaa kuin Heikuraisen tutkimuksissa. Laskentatulosten vertailukelpoisuuteen on tällä tuskin ollut sanottavaa vaikutusta.

Millä tavoin tuloksiin ovat vaikuttaneet pitkäjuurten pituuden mittauksessa ja lyhytjuurten laskennassa tulleet virheet, joita on käytännössä mahdotonta välttää, on vaikeaa arvioida. Kun mittauksien eri vaiheissa, kuten elävien ja kuolleiden juurten erottelussa, juurten katkonnassa ja oikaisemisessa sekä niiden paksuuden ja pituuden mittaamisessa, lyhytjuurten käsittelyssä, laskennassa jne., noudatettiin samoja perusteita koko tutkimuksen ajan, voitaneen tuloksien katsoa olevan keskenään vertailukelpoisia. Myös »hyvien» mykoritsojen makroskooppinen erottelu suoritettiin koko ajan samoin perustein. Täyttä varmuutta ei kylläkään ole, ovatko nämä ulkoasun perusteella erotellut lyhytjuuret kaikissa tapauksissa hyvänlaatuisia ja vaipallisia mykoritsoja. Virhemahdollisuus näyttää kuitenkin suhteellisen vähäiseltä, sillä tarkistuksen vuoksi tutkittavaksi otetuista 50 »hyvästä» mykoritsasta todettiin mikrotomileikkeiden perusteella 44:llä mykoritsasienen infektio voimakkaaksi ja vaippa hyvin muodostuneeksi. Muillakin vaipanmuodostus oli selvä, mutta vaippa oli varsin ohut. Varmaa ei myöskään ole, ovatko kaikki hyvänlaatuiset ja vaipalliset mykoritsat tulleet luetuiksi makroskooppisesti erotettuun »hyvien» mykoritsojen ryhmään. Voidaan kuitenkin todeta, että tässä tutkimuksessa käytettyjen erotteluperusteiden mu-

kaan on kaikkien mikroskooppisessa tutkimuksessa »hyvinä» mykoritsoina pidettyjen lyhytjuurien katsottu olevan sellaisia myös ulkoasun nojalla.

Tarkasteltaessa tutkimusmetsiköiden laadun vaikutusta juuristotutkimuksissa käytetyllä menetelmällä saatujen tulosten luotettavuuteen on todettava, että samalla tutkimusalueella ovat keskenään vertailtavat näytealat mm. suotyypin ja turpeen rakenteen puolesta varsin samanlaisia. Kasvualustan erot vertailtavien näytealojen välillä johtuvat ratkaisevasti tutkittavasta tekijästä, nimittäin kuivatuksen erilaisesta tehokkuudesta. Näytealojen puuston eräissä tapauksissa erilainen määrä on sen sijaan varteenotettava tekijä etenkin juurimääriä vertailtaessa, sillä mm. Laitakarin (1927) ja Kalelan (1949) tutkimukset osoittavat, että juurten määrä lisääntyy puuston kuutiomäärän kasvaessa. Vuorosuhde ei ole kuitenkaan suoraviivainen, vaan pienillä puilla juuria on enemmän runkopuun kuutiota kohden kuin suurilla (Laitakari 1927, s. 224, Kalela 1949, ss. 38—39). Kun tämän lisäksi otetaan huomioon, että turvemailla juurten määrän ja puuston kuutiomäärän välinen korrelaatio on todettu verraten heikoksi (Heikurainen 1955 b, ss. 29—30, 1958, s. 10), on ilmeistä, ettei puuston erilaisuudella ole ratkaisevaa merkitystä juurimääriä vertailtaessa.

Koska puiden juuriston rakenteessa tapahtuu kasvukauden kuluessa huomattavia muutoksia (esim. Kalela 1955, Heikurainen 1955 a), otettiin näytteet keskenään vertailtavilta näytealoilta mahdollisimman samanaikaisesti. Näytteenottoajaksi valittiin, mikäli mahdollista, elo-syyskuu, jolloin suopuiden juuristo on lähes vakiotilassa ainakin pitkäjuurten osalta (Heikurainen 1955 a, 1955 b, ss. 23—24, 1958, s. 8).

22. Muut tutkimukset

Pohjaveden korkeutta koskevat mittaukset suoritettiin maakairalla turpeeseen kaivetuista, avoimista pohjavesikaivoista, joiden poikkileikkauspinta-ala oli 100 cm^2 ja syvyys 100 cm. Pohjavesipinnan etäisyys maanpinnasta mitattiin 1 cm:n tarkkuudella kaivon lähiympäristön maanpinnan keskimääräiseen tasoon asetetusta, paalulla merkitystä vertailupisteestä lukien. Tämä pohjaveden korkeuden mittaustapa on sama, jota Huikari (1959 c) on käyttänyt. Vastaavanlaista menetelmää ovat käyttäneet myös mm. Multamäki (1936), Lukkala (1946), Heikurainen (1955 b) ja Holstener-Jørgensen (1959, 1961).

Avoimessa pohjavesikaivossa vaikuttavat pohjavesipinnan ja maanpinnan väliseen etäisyyteen paitsi maan vesisuhteet ja niissä tapahtuvat muutokset myös kaivoon esteettömästi satava vesi sekä vapaasta vedenpinnasta tapahtuva haihtuminen. Kahdesta viimeksi mainitusta tekijästä johtuvalla

virheellä ei kuitenkaan näytä olevan sanottavaa merkitystä pohjaveden korkeuden mittauksessa mm. niiden tutkimusten valossa, joissa on tarkasteltu sateista aiheutuvaa pohjaveden korkeuden vaihtelua (vrt. Malmström 1931, Multamäki 1936, Lumiala 1944, Holstener-Jørgensen 1956, 1958, Heikurainen 1963). Kaivojen vedenpinta kohoaa nimittäin niin voimakkaasti sateiden vaikutuksesta, että tämä nousu voi vain vähäiseltä osalta johtua suoraan pohjavesikaivoon satavasta vedestä. Niinpä Heikuraisen (1963, s. 11) mukaan 5 mm:n sade saattaa aiheuttaa 1—5 cm:n suuruisen vedenpinnan nousun. Edellä esitetyn sekä myös niiden tulosten perusteella, jotka kirjoittaja on saanut verratessaan keskenään vedenpinnan vaihteluja avoimissa ja peitetyissä kaivoissa, pohjavesikaivojen peittämistä ei pidetty tarpeellisena tässä tutkimuksessa.

Koska pohjaveden korkeus vaihtelee herkästi etenkin sateiden maan vesisuhteissa aiheuttamien muutosten johdosta, on pohjavesihavaintoja tehtävä sääolojen aiheuttaman vaihtelun tasoittamiseksi pitkähkön ajan kuluessa. Tässä tutkimuksessa kutakin kasvukautta koskevat mittaukset suoritettiin vähintään joka kolmas päivä kesä-elokuun aikana.

Näytealoilla määritettiin suotyypit Heikuraisen (1960) mukaisesti sekä mitattiin turpeen paksuus. Pintaturpeen turvelaji ja maatumisaste tutkittiin v. Postin (1922) esittämällä tavalla. Turvelaji tutkittiin myös Heikuraisen ja Huikarin (1952) esittämällä mikroskooppisella menetelmällä. Heikuraisen ja Huikarin turvetekijäluokittelusta (m.t., ss. 9—10) poikettiin siinä suhteessa, että varpujen jäännökset luettiin kuuluviksi L-turvetekijään. Maatumisaste selvitettiin Liesnevan tutkimusalueella myös mittaamalla turpeen tilavuuspaino, joka on, niinkuin mm. Kivisen (1948), Kailan (1956) ja Saraston (1960) tutkimukset osoittavat, varsin selvässä vuorosuhteessa maatumisasteen kanssa. Tilavuuspainon määrittämiseksi kuivattiin turvenäytettä (koko 1 dm^3) 105° C:n lämpötilassa, kunnes näytteen paino ei enää vähentynyt, mikä todettiin välipunnituksilla (vrt. esim. Wäre 1947, s. 113).

Puustosta selvitettiin ikä, kuutiomäärä ja runkoluku sekä pituus- ja paksuuskasvu. Kuutiointi suoritettiin Ilvessalon (1948) taulukoiden mukaan. Vuosilustojen paksuus mitattiin mikroskoopilla varustetulla lustonmittauslaitteella. Puuston kasvun mittaamiseen käytettiin myös tunnettua pantamittausmenetelmää siinä parannetussa muodossa, jonka Huikari (1961, 1965) on esittänyt. Tällä menetelmällä saatiin koepuiden kehäkasvu rinnankorkeudella 2/100 mm:n tarkkuudella.

Kirjoittaja on suorittanut tässä luvussa mainitut tutkimukset Parkanon Liesnevan ja Rovaniemen Mortin sarkaleveyskoekentillä sekä turvetutkimukset muilla koekentillä. Muut näytealoja koskevat tiedot on saatu metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastosta.

Koekenttien vesitalouden järjestely on suoritettu seuraavalla tavalla.

Ns. ojasyvyyskoekentillä (H u i k a r i 1964) on samankokoisia ojilla ympäröityjä koealoja (esim. kuva 4, s. 24). Kutakin koealaa ympäröivän ojan vedenpinta pidetään padotuksilla ja vettä juoksuttamalla ympäri vuoden ennakolta määrätyssä vakiotasossa. Jotta vesitys toimisi myös talven aikana, peitetään säännöstelypadot jäätymisen estämiseksi havunoksilla ja lumella. Eri koealojen väliset erot maan vesitaloudessa johtuvat siitä, mihin syvyyteen ojien vedenpinta on säännöstelty. Kuivatus on sitä tehokkaampi, mitä suurempi on koealaa ympäröivän ojan vedenpinnan säännöstelysyvyys. Sarkaleveyskoekentillä on vesitalouden järjestely suoritettu erilevyisiin sarkoihin ojittamalla (esim. kuva 6, s. 31). Mitä kapeampaa sarkaa on käytetty, sitä tehokkaampi on kuivatus.

3. AINEISTO

31. Ojasyvyyskoekentät

Vilppulan Jaakkoinsuolle ja Kivalon Sattasuolle (kuva 2) perustetuilla ojasyvyyskoekentillä on vesitalouden järjestelystä kulunut aikaa tutkimuksen suorittamiseen mennessä vajaat viisi vuotta. Kuten edellä on mainittu, johtuvat keskenään vertailtavien näytealojen väliset vesitalouserot näillä koekentillä siitä, mihin syvyyteen näytealoja ympäröivien ojien vedenpinta on säännöstelty. Säännöstelysyvyydet ovat kummallakin tutkimusalueella 10, 30, 50 ja 70 cm maanpinnasta lukien.

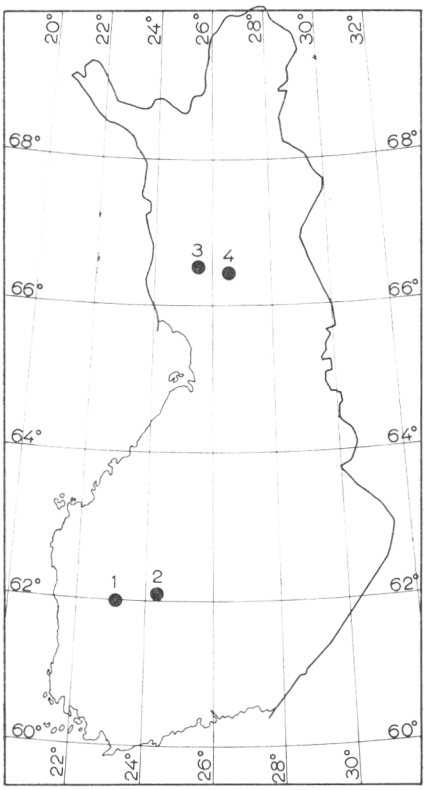
311. Vilppulan Jaakkoinsuo

Jaakkoinsuolle on perustettu kaksi ojasyvyyskoekenttää (kuva 3). Koekenttä A on valmistunut syksyllä 1960, ja se käsittää 8 kpl 15 m × 40 m:n suuruista koealaa. Koekentällä B, joka on valmistunut vuoden 1961 keväällä, on viisi samansuuruista koealaa. Koealoja ympäröivien ojien syvyys on 100 cm ja leveys 30 cm.

Juuristotutkimukset aloitettiin koekentällä A jo ennen vesitalouden järjestelyä. Jokaiselta tämän koekentän koealalta otettiin viisi näytettä. Kultakin koealalta otettiin yksi näyte sen keskikohdasta ja muut näytteet koealan keskipisteen ja jokaisen kulman puolivälistä. Näytteitä oli kaikkiaan 40 kpl. Niiden perusteella esitetään jäljempänä, minkälainen juuriston rakenne on ollut koekentällä A ennen vesitalouden järjestelyä.

Tutkimuksia jatkettiin vuosina 1963, 1964 (tällöin tutkittiin vain lyhytjuurten mykoritsasuhteita näytealoilla, joita ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10 cm ja 70 cm) ja 1965. Juuristonäytteet otettiin näinä vuosina samoista kohteista siten, että etäisyys aikaisempaan näytteenoton takia maahan muodostuneeseen kuoppaan oli kussakin kohteessa enintään 0.5 m. Näytteenottopaikkojen sijoitus koekentillä nähdään kuvasta 4. Näytteiden lukumäärä ja näytteenottoajat selviävät taulukosta 2.

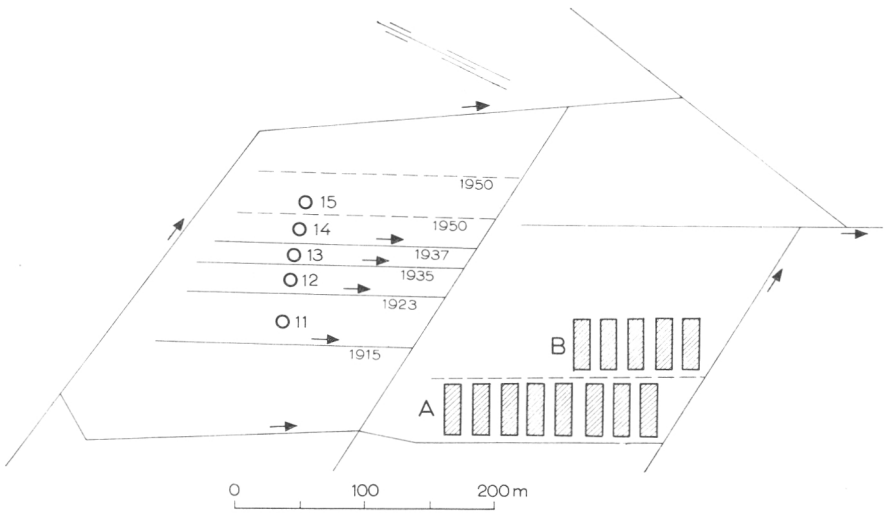
Juuristotutkimuksiin valittujen näytealojen suotyyppi on isovarpuinen tupasvillaräme. Pintakasvillisuuden laatu eri näytealoilla ilmenee taulukosta 3.



Kuva 2. Tutkimusalueiden sijainti.

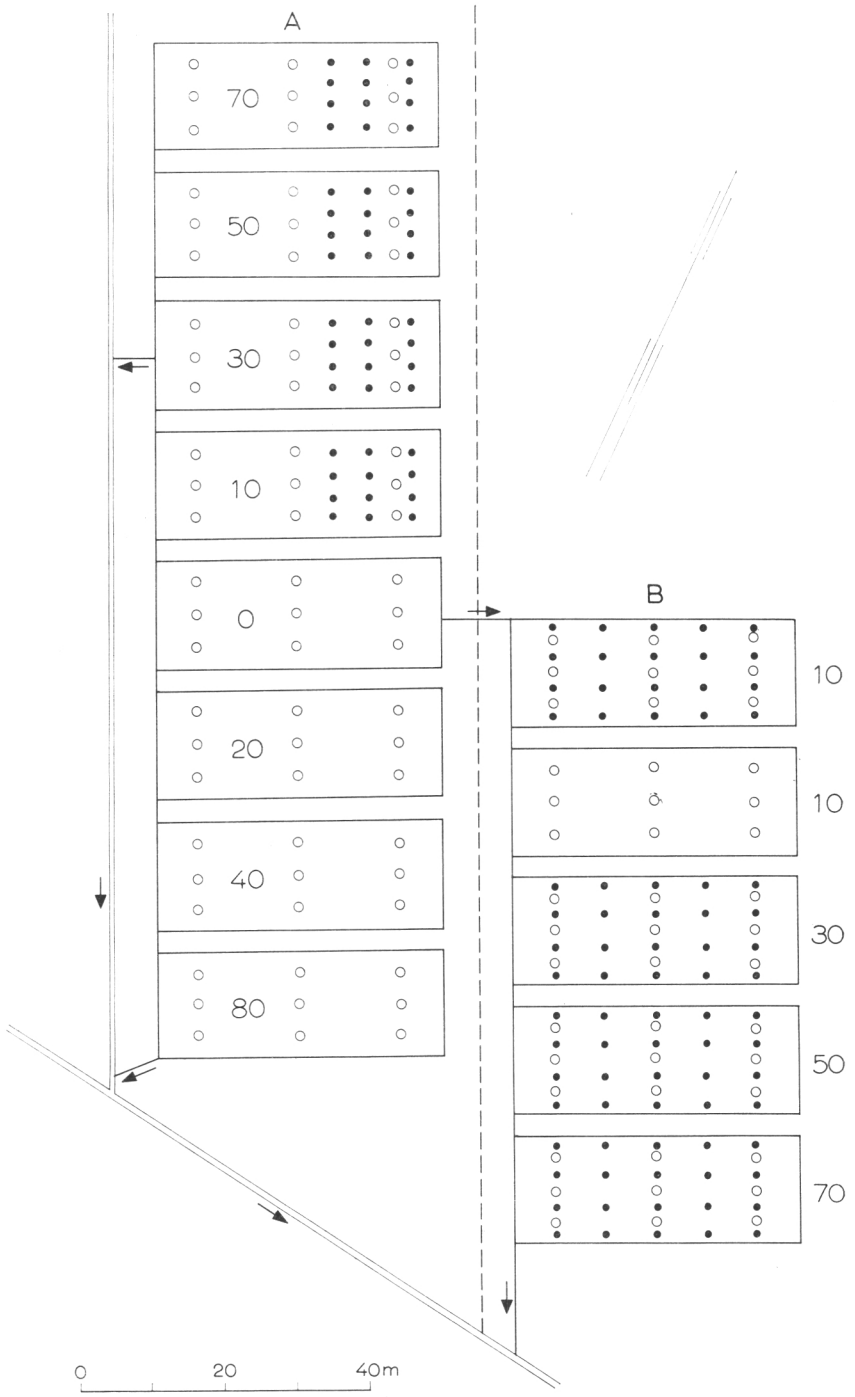
Figure 2. Location of experimental areas.

1 = Liesneva (Parkano), 2 = Jaakkoinsuo (Vilppula), 3 = Mortti (Rovaniemi), 4 = Sattasuo (Rovaniemi, Kivalo).



Kuva 3. Yleiskartta Jaakkoinsuon tutkimusalueelta. Ojasyvyyskoekenttien A ja B näytealat on merkitty suorakaiteilla ja sarkaleveyskoekentän näytealat ympyröillä.

Figure 3. Map of the Jaakkoinsuo experimental area. The sample plots of the ditch-depth experimental fields A and B are indicated by rectangles and the sample plots of the strip-width experimental field by circles.



Kuva 4. Juuristotutkimusten näytealat Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentillä A ja B. Näytealoja ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys cm:ssä on merkitty numeroilla, pohjavesikaivot ympyröillä ja juuristonäytteiden ottopaikat pisteillä.

Figure 4. The sample plots of the root studies on ditch-depth experimental fields A and B at Jaakkoinsuo. The numbers indicate the regulated water level (in centimetres) in the ditches surrounding the sample plots, the circles indicate the ground water holes, and the dots mark the points at which root samples were taken.

Taulukko 2. Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekenttien näytealoilta otetut juuristonäytteet.

Table 2. Root samples taken from Jaakkoinsuo ditch-depth experimental fields.

Koekenttä *Experimental field*	Päivämäärä *Date*	Näytteitä, kpl *Number of samples*	Näytteen pituus, cm *Length (cm) of sample*	Näyteosia, kpl *Number of subsamples*	Näytteen poikkileikkauspinta-ala, cm² *Cross-section area of sample sq.cm*
A	6.—7. 10. 1960	40	20	160	100
A	29. 8. 1963	48	35	336	20
B	27.—28. 8. 1963	80	35	560	20
B	29. 6. 1964	40	30	240	20
B	16.—17. 6. 1965	80	30	480	20
Yhteensä — *Total*		288		1 776	

Taulukko 3. Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekenttien näytealojen pintakasvillisuus v. 1962.[1])

Table 3. Ground vegetation on Jaakkoinsuo ditch-depth experimental fields in 1962.[1])

Kasvilaji *Plant species*	Koekenttä A *Experimental field A*				Koekenttä B *Experimental field B*			
	Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys, cm *Regulated water level in the ditches, cm*							
	10	30	50	70	10	30	50	70
	Peittävyysprosentti[2]) — *Per cent of coverage[2])*							
Betula pubescens	—	—	—	—	0.6	—	—	—
Pinus silvestris	+	0.9	0.6	+	0.4	0.4	+	0.7
Picea abies	—	+	—	—	—	—	—	—
Betula nana	0.4	0.6	0.5	1.6	+	—	—	—
Ledum palustre	7.4	12.9	21.9	18.5	16.9	17.5	16.9	20.6
Vaccinium uliginosum	6.5	1.8	+	0.9	—	—	0.6	+
Vaccinium vitis-idaea	2.9	6.8	6.8	3.8	2.1	—	+	0.4
Vaccinium myrtillus	—	0.9	1.4	1.3	0.7	+	+	0.4
Vaccinium oxycoccos	0.7	0.6	0.8	0.5	0.9	0.9	0.8	1.2
Andromeda polifolia	1.6	1.5	1.6	1.5	2.1	2.4	2.4	2.3
Empetrum nigrum	17.9	14.4	20.9	7.3	3.8	14.5	11.1	9.4
Rubus chamaemorus	1.1	+	+	1.1	0.7	1.1	0.9	1.4
Eriophorum vaginatum	18.9	11.6	4.6	6.5	12.8	8.9	8.3	7.4
Carex pauciflora	+	—	—	—	—	—	+	—
Carex globularis	—	—	—	—	+	—	—	—
Pleurozium Schreberi	7.1	24.5	24.9	31.3	0.6	+	4.4	2.9
Hylocomium splendens	—	—	—	—	0.4	—	—	—
Dicranum undulatum	+	1.1	+	0.9	+	+	—	0.4
Polytrichum strictum	1.0	4.4	0.5	0.4	0.4	—	—	—
Aulacomnium palustre	+	—	—	3.9	+	—	—	—
Pohlia nutans	0.5	—	—	—	+	+	—	+
Sphagnum magellanicum	3.3	2.4	0.6	1.3	5.9	3.3	7.0	7.4
Sphagnum parvifolium	25.0	13.5	12.5	14.3	50.0	51.3	49.3	45.0
Sphagnum fuscum	0.4	—	—	+	—	—	—	—
Cladonia spp.	+	2.8	4.6	3.6	0.7	+	+	1.5
Peltigera aphtosa	+	—	—	—	—	—	—	—

[1]) Huikarin (1965, liite 3, taulukko 1) mukaan — *According to Huikari (1965, Appendix 3, Table 1).*

[2]) Keskiarvo 8 ruudulta (ruutukoko 1 m²) — *Mean of 8 squares (size 1 sq.m).*

Taulukko 4. Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekenttien näytealojen puusto v. 1961.[1])

Table 4. Data on the growing stock on Jaakkoinsuo ditch-depth experimental fields in 1961.[1])

Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys, cm *Regulated water level in the ditches, cm*	Puusto — *Growing stock*	
	k-m³/ha kuorineen *m³/ha incl. bark*	Runkoluku, kpl/ha *Stem number/ha*
Koekenttä A — *Experimental field A*		
10	16.7	600
30	22.4	1 200
50	20.2	1 300
70	19.2	1 000
Koekenttä B — *Experimental field B*		
10	19.2	617
30	20.2	617
50	19.1	683
70	29.9	850

[1]) Huikarin (1965, taulukko 4) mukaan — *According to Huikari (1965, Table 4).*

Turpeen paksuus on näytealoilla 0.8—1.5 m. Turvelaji ja turpeen maatumisaste ovat:

0.1 m	(L)S—t H 3
0.3 m	S—t H 4
0.5 m	S—t H 4—5

Mikroskooppisessa turvelajimäärityksessä ei ilmennyt olennaisia eroja eri koeruutujen pintaturpeen kasvinjäännöskoostumuksessa.

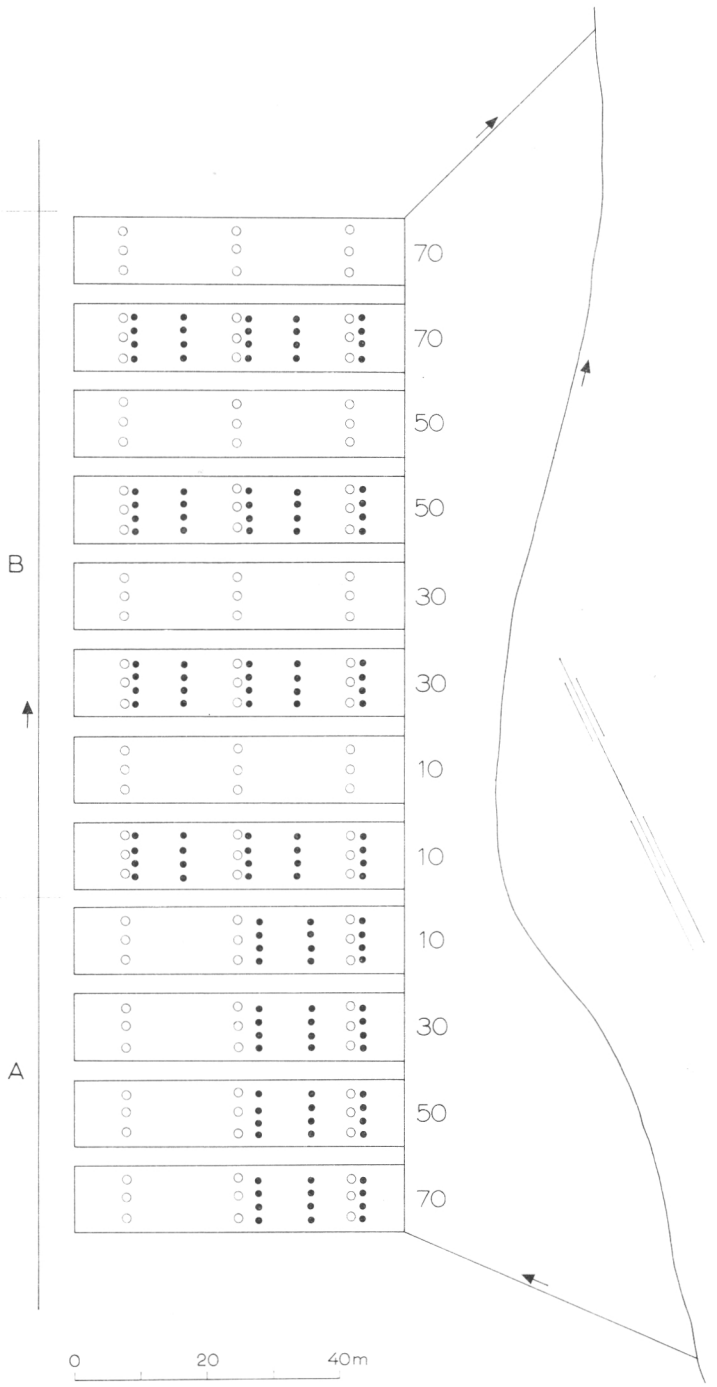
Näytealojen puustossa on vähäisiä eroja (taulukko 4). Puusto on keskimääräistä suurempaa koekentän B näytealalla, jota ympäröivän ojan vedenpinnan säännöstelysyvyys on 70 cm. Puuston keski-ikä on sama kaikilla näytealoilla, 90—100 v.

Näytealojen kaikista puista on mitattu kehäkasvu ja pituuskasvu vuosina 1961—1964. Pohjaveden korkeus on mitattu kuvassa 4 esitetyistä pohjavesikaivoista.

312. Kivalon Sattasuo

Rovaniemen maalaiskunnassa sijaitseva Kivalon Sattasuon ojasyvyyskoekenttä on valmistunut vuoden 1961 alkukesällä. Koekentällä on 12 kpl 10 m × 50 m:n suuruista koealaa (kuva 5). Niitä ympäröivät ojat ovat samanlaisia kuin Vilppulan Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentällä.

Kuvasta 5 ilmenee, että juuristotutkimuksia suoritettiin kahdella neljän näytealan sarjalla. Sarjaan A kuului neljä 10 m × 25 m:n ja sarjaan B neljä 10 m × 50 m:n kokoista näytealaa.



Kuva 5. Juuristotutkimusten näytealat Sattasuon ojasyvyyskoekentällä. Merkintöjen selitys on sama kuin kuvassa 4 (s. 24).

Figure 5. The sample plots of the root studies on the ditch-depth experimental field at Sattasuo. The explanation of numbers, circles and dots is the same as in Figure 4 (p. 24).

Taulukko 5. Sattasuon ojasyvyyskoekentän näytealojen pintakasvillisuus v. 1962.[1])

Table 5. Ground vegetation on Sattasuo ditch-depth experimental field in 1962.[1])

Kasvilaji *Plant species*	Näytesarja A *Sample series A*				Näytesarja B *Sample series B*			
	Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys, cm *Regulated water level in the ditches, cm*							
	10	30	50	70	10	30	50	70
	Peittävyysprosentti[2]) — *Per cent of coverage[2])*							
Betula pubescens	+	—	—	+	+	+	0.7	1.1
Picea abies	—	+	—	—	—	+	—	+
Pinus silvestris	+	+	+	+	1.3	1.0	+	1.0
Betula nana	8.6	4.9	7.6	7.0	7.3	4.9	5.9	5.4
Ledum palustre	2.2	0.5	+	1.6	1.0	0.5	1.9	2.6
Salix repens	—	—	—	—	—	—	+	0.8
Vaccinium myrtillus	+	2.0	1.1	—	+	+	—	0.6
Vaccinium vitis-idaea	1.8	5.6	8.2	2.5	0.6	3.5	4.8	6.8
Vaccinium uliginosum	1.0	2.3	4.5	2.9	2.4	1.7	5.1	1.5
Vaccinium oxycoccos	0.6	0.9	0.7	1.5	1.0	1.4	2.0	1.4
Andromeda polifolia	1.0	1.8	1.2	3.5	1.1	1.1	1.6	1.9
Empetrum nigrum	3.3	7.5	1.7	2.5	1.0	3.6	2.9	6.8
Rubus chamaemorus	3.5	3.6	2.2	2.1	3.6	1.1	+	+
Menyanthes trifoliata	—	—	—	—	+	+	+	+
Listera cordata	—	—	—	—	—	—	+	+
Pyrola secunda	—	—	—	—	—	—	+	—
Melampyrum pratense	—	—	—	—	—	—	+	+
Potentilla palustris	—	—	—	—	—	—	+	+
Drosera rotundifolia	—	—	—	—	—	+	+	—
Eriophorum vaginatum	1.0	3.5	1.0	0.8	1.1	0.9	0.5	—
Carex pauciflora	+	+	+	+	+	+	0.8	+
Carex chordorrhiza	—	—	—	—	+	+	0.6	0.7
Carex lasiocarpa	—	—	—	+	—	—	+	—
Carex globularis	—	—	0.6	4.8	—	—	—	—
Carex livida	+	+	+	+	+	+	+	—
Carex limosa	—	—	—	—	+	—	+	+
Equisetum palustre	0.9	+	0.8	+	2.9	2.9	3.9	6.8
Polytrichum strictum	+	0.9	+	0.5	+	0.7	3.0	1.2
Polytrichum commune	—	+	—	+	—	—	—	—
Pleurozium Schreberi	24.4	14.1	19.2	17.6	10.3	11.5	10.6	8.2
Aulacomnium palustre	1.2	1.3	0.8	1.1	1.6	0.8	0.8	1.1
Hylocomium splendens	—	—	—	—	—	—	—	3.1
Dicranum scoparium	—	—	1.0	2.8	—	1.5	—	+
Pohlia nutans	+	0.5	+	+	+	0.8	+	1.2
Mnium spp.	—	—	—	—	—	+	—	—
Sphagnum rubellum	41.9	33.1	43.8	35.0	53.1	53.1	39.4	34.4
Sphagnum magellanicum	4.7	5.0	3.2	5.6	5.0	6.5	14.5	12.1
Sphagnum fuscum	1.0	—	—	2.9	6.3	—	—	—
Sphagnum nemoreum	+	—	—	1.0	—	—	—	—
Cladonia spp.	—	—	+	+	—	+	—	—
Peltigera aphtosa	—	—	—	—	—	+	+	—

[1]) Huikarin (1965, liite 3, taulukko 3) mukaan — *According to Huikari (1965, Appendix 3, Table 3).*

[2]) Keskiarvo 8 ruudulta (ruutukoko 1 m²) — *Mean of 8 squares (size 1 sq.m).*

Taulukko 6. Sattasuon ojasyvyyskoekentän näytealojen puusto v. 1961.[1])

Table 6. Data on the growing stock on Sattasuo ditch-depth experimental field in 1961.[1])

Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys, cm *Regulated water level in the ditches, cm*	Mänty — *Pine*		Kuusi — *Spruce*		Koivu — *Birch*	
	m³/ha kuorineen *m³/ha incl. bark*	Runkoluku, kpl/ha *Stem number per ha*	m³/ha kuorineen *m³/ha incl. bark*	Runkoluku, kpl/ha *Stem number per ha*	m³/ha kuorineen *m³/ha incl. bark*	Runkoluku, kpl/ha *Stem number per ha*
Näytesarja A — *Sample series A*						
10	37.8	1 320	0.4	80	1.1	40
30	27.7	1 240	—	—	1.1	80
50	29.2	1 240	0.1	40	1.4	80
70	46.2	1 640	0.5	80	1.1	40
Näytesarja B — *Sample series B*						
10	27.6	1 240	0.8	180	1.7	40
30	30.2	1 280	1.2	280	3.8	100
50	25.6	1 280	0.8	180	4.2	120
70	25.0	1 220	0.2	20	1.3	60

[1]) Huikarin (1965, taulukko 6) mukaan — *According to Huikari (1965, Table 6).*

Juuristonäytteitä otettiin 1.—3. 8. 1963 sarjan A jokaiselta näytealalta 12 kpl ja sarjan B näytealoilta 20 kpl. Näytteiden poikkileikkauspinta-ala oli 4 cm × 5 cm. Näytteenottopaikkojen sijoitus selviää kuvasta 5. Mykoritsatutkimuksia varten otettiin lisäksi näytteitä 7.—8. 7. 1964 kummankin sarjan niiltä näytealoilta, joissa ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10 cm ja 70 cm. Näytteiden lukumäärä, näytekoko ja näytteenottopaikat olivat samat kuin edellisenä vuonna. Näytteitä oli Sattasuolta kaikkiaan 192 kpl ja näyteosia 1 088 kpl.

Suotyyppi on koekentällä ruohoinen sararäme. Taulukosta 5 nähdään pintakasvillisuuden laatu eri koealoilla.

Turpeen paksuus on koealoilla 2.9—3.3 m sekä turvelaji ja turpeen maatumisaste seuraavat:

0.1 m	LC—t H 4
0.3 m	LC—t H 5
0.5 m	LC—t H 5

Mikroskooppisessa turvelajimäärityksessä todettiin eri koealojen pintaturpeen kasvinjäännöskoostumus samanlaiseksi.

Juuristotutkimuksiin valittujen näytealojen puusto on lähes samanlaista (taulukko 6). Puuston keski-ikä on 90 v. Näytealoilla on mäntyjen ohella myös vähän koivuja ja kuusia.

Puuston pituus- ja kehäkasvu on mitattu kunkin näytealan kaikista männyistä vuosina 1961—1964. Pohjaveden korkeus on mitattu kuvassa 5 esitetyistä pohjavesikaivoista.

32. Sarkaleveyskoekentät

Tutkimusalueiksi valituilla Parkanon Liesnevan, Vilppulan Jaakkoinsuon ja Rovaniemen Mortin koekentillä (kuva 2, s. 23) on vesitalouden järjestely suoritettu erilevyisiin sarkoihin ojittamalla. Päätutkimusalue on Parkanon Liesneva, jossa ojituksesta on kulunut tutkimuksen suorittamiseen mennessä 8—9 kasvukautta. Vilppulan Jaakkoinsuon vanha ojitusalue on valittu tutkimusalueeksi lähinnä ojituksen iän vaikutuksen selvittelyä varten ja Rovaniemen Mortin koekenttä juurisuhteissa mahdollisesti ilmenevien alueellisten erojen selvittämiseksi.

321. Parkanon Liesneva

Liesnevalle on perustettu vuosina 1954—1955 kolme sarkaleveyskoekenttää, joista kukin käsittää sarkaleveydet 5, 10, 20, 40, 60, 80 ja 100 m (vrt. Huikari 1959 c). Tutkimukset suoritettiin metsää kasvavien avo-ojitetun ja salaojitetun sarkaleveyskoekentän 5—80 m:n levyisillä saroilla sekä niiden läheisyydessä sijaitsevalla ojittamattomalla tupasvillarämeellä (kuva 6). Avo-ojitetun koekentän ojat on tehty kesäkuun alussa v. 1955, ja niiden syvyys on 80 cm. Salaojitetun koekentän ojat ovat 80 cm:n syvyisiä latvussalaojia, jotka on tehty toukokuussa v. 1954.

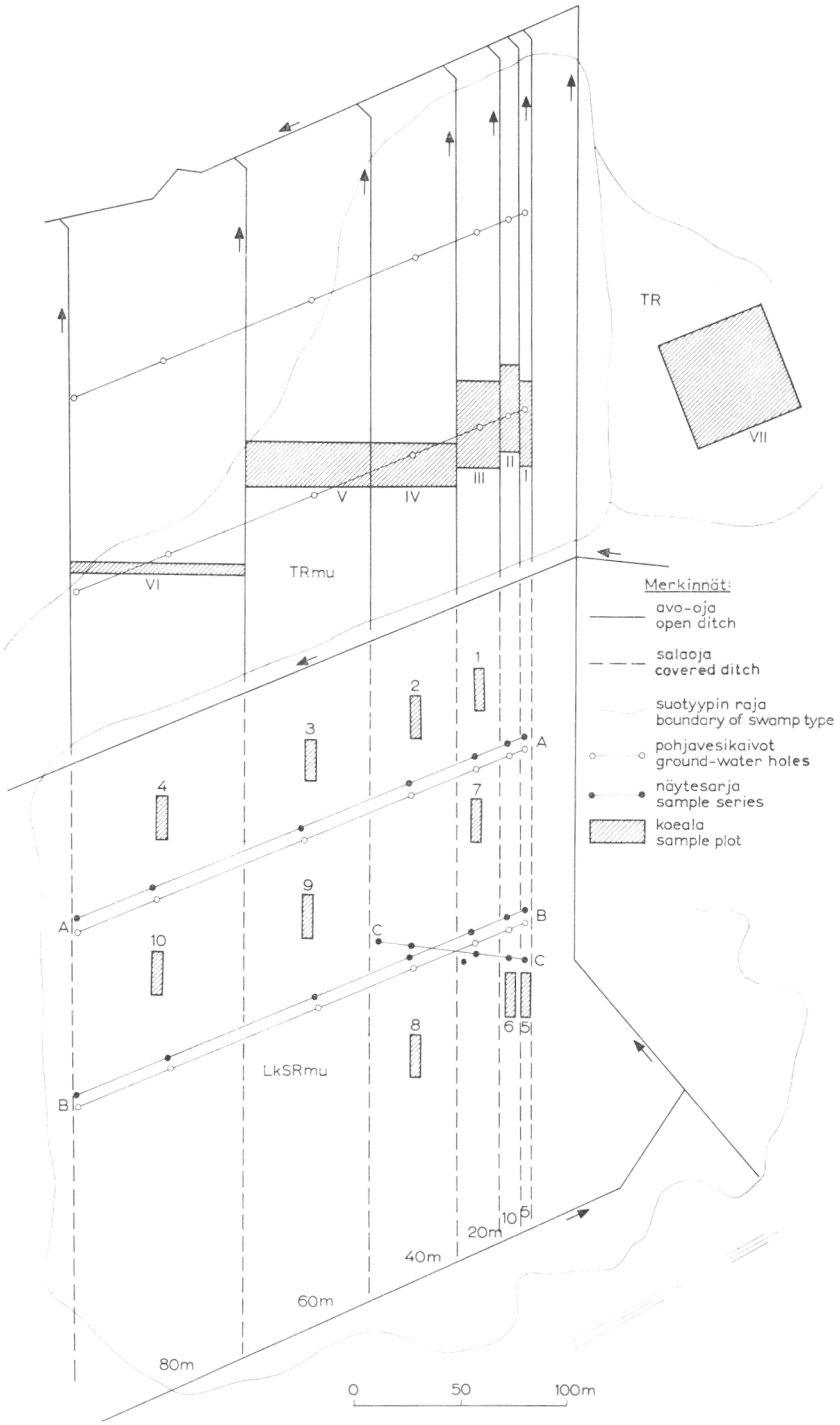
Tutkimusaineisto jakaantuu seuraaviin kolmeen ryhmään (vrt. kuva 6).

1. Avo-ojitetun koekentän erilevyisille saroille sekä niiden läheisyydessä sijaitsevalle ojittamattomalle rämeelle asetetuilla näytealoilla I—VII tehdyt tutkimukset.
2. Salaojitetun koekentän sarkojen poikki ulottuvilla linjoilla A—C tehdyt tutkimukset.
3. Salaojitetun koekentän erilevyisten sarkojen keskelle asetetuilla näytealoilla 1—10 tehdyt tutkimukset.

Näytealat I—VII

Avo-ojitetun koekentän näytealat ulottuivat sarkojen poikki, ja niiden pituus oli ojien suunnassa (sulkeissa sarkaleveys):

Näyteala	Pituus ojien suunnassa, m
I (5 m)	40
II (10 m)	40
III (20 m)	40
IV (40 m)	20
V (60 m)	20
VI (80 m)	5



Kuva 6. Yleiskartta Liesnevan tutkimusalueelta.

Figure 6. Map of the Liesneva experimental area.

Taulukko 7. Liesnevan tutkimusalueen avo-ojitetun koekentän näytealojen I—VII pintakasvillisuus v. 1963.

Table 7. Ground vegetation in sample plots I—VII on the open-ditch experimental field at Liesneva in 1963.

Kasvilaji *Plant species*	Näyteala *Sample plot*						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
	Peittävyysprosentti[1]) — *Per cent of coverage*[1])						
Betula pubescens	0.1	—	—	—	—	—	—
Pinus silvestris	+	—	—	+	+	—	—
Betula nana	0.6	0.6	0.1	0.1	+	+	+
Calluna vulgaris	+	7.5	6.4	6.9	3.3	3.4	0.8
Ledum palustre	0.1	—	—	—	—	—	—
Vaccinium uliginosum	22.3	10.5	7.5	8.7	6.1	5.5	2.4
Vaccinium vitis-idaea	0.6	—	—	—	—	—	—
Vaccinium myrtillus	+	+	+	—	—	—	—
Vaccinium oxycoccos	+	+	+	+	+	+	0.1
Andromeda polifolia	+	+	+	+	+	+	0.2
Empetrum nigrum	1.8	1.3	1.7	2.2	2.5	2.0	2.3
Rubus chamaemorus	—	0.1	0.2	0.7	0.5	1.5	2.1
Eriophorum vaginatum	0.1	0.2	1.7	4.7	4.9	6.0	3.8
Pleurozium Schreberi	7.6	0.1	+	+	+	+	—
Polytrichum strictum	1.4	0.7	0.4	0.2	3.0	0.5	+
Aulacomnium palustre	3.7	3.4	0.6	0.4	+	+	+
Sphagnum magellanicum	+	0.3	0.1	0.5	0.2	2.2	6.8
Sphagnum parvifolium	0.6	25.2	60.0	72.0	62.0	74.0	75.5
Sphagnum fuscum	—	—	—	0.4	2.5	6.5	6.2
Cladonia spp.	0.3	+	—	+	+	+	+

[1]) Keskiarvo 10 ruudulta (ruutukoko 0.25 m²) — *Mean of 10 squares (size 0.25 sq.m).*

Ojittamattoman rämeen näytealan (VII) koko oli 50 m × 50 m.

Näytealojen I—VII alkuperäinen suotyyppi on tupasvillaräme. Kuten taulukosta 7 ilmenee, on ojitus vaikuttanut etenkin kapeimpien sarkojen pintakasvillisuuteen. Kapeilla saroilla oli rahkasammalia tuntuvasti vähemmän, mutta varpukasvillisuutta sen sijaan runsaammin kuin leveillä saroilla tai ojittamattoman rämeen näytealalla. Kapeimmalla, 5 m:n saralla (näyteala I), jossa sammalien peittävyys oli runsaan karikemäärän johdosta vähäinen, oli *Pleurozium Schreberi* valtasammalena.

Turpeen paksuus on näytealoilla I—VII 1.4—1.9 m. Turvelaji ja maatumisaste ovat:

0.1 m	(L)S—t H 2
0.3 m	(L)ErS—t H 3
0.5 m	CS—t H 5

Mikroskooppinen turvelajimääritys osoitti silmävaraisen turvetutkimuksen kanssa yhtäpitävästi, että eri näytealojen pintaturpeen kasvinjäännöskoostumus oli samanlainen.

Maatumisasteen määrityksen tarkistamiseksi näytealoilla I—VI suoritettu pintaturpeen (0—30 cm) tilavuuspainon määritys antoi tulokseksi (sulkeissa tutkittujen näytteiden luku):

Näyteala *Sample plot*	Pintaturpeen tilavuuspaino, g/cm³ *Volume weight of surface peat, g/cm³*
I (4)	0.111
II (4)	0.100
III (4)	0.103
IV (7)	0.099
V (7)	0.095
VI (9)	0.087

Asetelmasta nähdään, että kapeilla saroilla oli 30 cm:n paksuisen pintaturpeen tilavuuspaino hieman suurempi kuin leveillä saroilla. Tämän mukaan pintaturve on kapeilla saroilla vähän maatuneempaa kuin leveillä (vrt. Kivinen 1948, Kaila 1956, Sarasto 1960), mikä ei ilmennyt v. Postin (1922) mukaan suoritetussa maatumisasteen määrityksessä.

Näytealat I—VII pyrittiin valitsemaan puuston suhteen samankaltaisista kohdista, mutta kuten seuraavasta asetelmasta havaitaan, tämä ei ollut koekentällä täysin mahdollista.

Näyteala *Sample plot*	Puusto — *Growing stock*	
	k-m³/ha kuorineen *m³/ha incl. bark*	Runkoluku, kpl/ha *Stem number/ha*
I	32.8	1 500
II	32.5	1 160
III	31.8	1 510
IV	24.9	1 240
V	18.6	1 000
VI	10.2	950
VII	19.0	1 060

Näytealat I—III ovat puuston kuutiomäärän ja runkoluvun suhteen varsin samanlaiset, mutta näyteala IV poikkeaa näistä jo jonkin verran ja näytealat V—VII verraten paljon. Puusto on samanikäistä, lukuunottamatta näytealaa VII, jossa vallitsevan puuston ikä on 110—130 v., kun se muilla näytealoilla on 80—90 v.

Pohjaveden korkeus mitattiin näytealoilla I—VI v. 1962 kesä-elokuun aikana. Mittaus tapahtui joka kolmas päivä kuvassa 6 (s. 31) esitetyn, näytealojen kautta kulkevan pohjavesikaivolinjan kaivoista. Kaivot sijaitsivat linjalla 5 m:n päässä toisistaan.

Juuristonäytteet otettiin näytealoilta I—VII mahdollisimman tasaisin välimatkoin, ei kuitenkaan lähempää kuin 1.5 m sarkaojista. Tästä muodostaa poikkeuksen näytealoilta I ja II 7. 9. 1962 otettu näytesarja, jonka näytteet otettiin kuvan 7 osoittamalla tavalla juuriston tiheyden tutkimi-

Taulukko 8. Liesnevan tutkimusalueen avo-ojitetun koekentän näytealoilta I—VII otetut juuristonäytteet.

Table 8. Root samples taken from sample plots I—VII on the open-ditch experimental field at Liesneva.

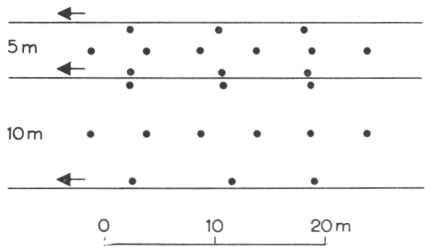
Näyteala *Sample plot*	Päivämäärä *Date*	Näytteitä, kpl *Number of samples*	Näytteen pituus, cm *Length (cm) of sample*	Näyteosia, kpl *Number of subsamples*	Näytteen poikkileikkauspinta-ala, cm^2 *Cross-section area of sample, sq.cm*
I	16. 6. 1962	10	20	40	100
I	16. 6. 1962	6	50	60	100
I	7. 9. 1962	12	30	72	100
I	16. 7. 1963	20	50	200	20
II	18. 6. 1962	10	20	40	100
II	18. 6. 1962	6	50	60	100
II	7. 9. 1962	12	30	72	100
II	16. 7. 1963	20	50	200	20
III	19. 6. 1962	10	20	40	100
III	19. 6. 1962	8	50	80	100
III	18. 7. 1963	20	50	200	20
IV	20. 6. 1962	10	20	40	100
IV	20. 6. 1962	8	50	80	100
IV	19. 7. 1963	20	50	200	20
V	21. 6. 1962	10	20	40	100
V	19. 7. 1963	20	50	200	20
VI	21. 6. 1962	10	20	40	100
VII	6. 9. 1961	20	20	80	100
VII	16. 7. 1963	20	30	120	20
Yhteensä — *Total*		252		1 864	

seksi ojien läheisyydessä. Näytealoilta I—VII otettujen näytteiden luku ja näytteenottoajat selviävät taulukosta 8.

Puuston kasvun selvittämiseksi valittiin näytealojen I—V NE-SW suuntaisilta lävistäjiltä tasaisin välimatkoin mahdollisimman samankokoisia puita (näytealoilta I—IV 8 kpl ja näytealalta V 11 kpl), joiden kehäkasvu mitattiin kahtena kesänä (vv. 1962—1963) pantamittausmenetelmällä. Samoista puista mitattiin syksyllä 1962 ojituksen jälkeinen pituuskasvu seitsemän vuoden ajalta ja yhtä monelta vuodelta ennen ojitusta sekä otettiin kairalastut rinnankorkeudelta paksuuskasvun mittaamista varten.

Linjat A—C

Salaojitetun koekentän alkuperäinen suotyyppi on varsinaiseen sararämeeseen vivahtava tupasvilläräme. Merkittävin ero pintakasvillisuudessa avo-ojitettuun koekenttään nähden oli (vrt. taulukko 7, s. 32), että salaojitetulla koekentällä tavattiin jonkin verran *Carex rostrataa* ja *Carex lasiocarpaa*. Pintakasvillisuuden muuttuminen ojituksen vaikutuksesta on ollut salaojitetulla koekentällä pääpiirteissään samanlaista kuin avo-ojitetulla koekentällä.



Kuva 7. Juuristonäytteiden ottopaikat (pisteet) Liesnevan tutkimusalueen näytealoilla I ja II 7. 9. 1962.

Figure 7. Points (dots) at which root samples were taken on September 7, 1962, in sample plots I and II at Liesneva.

Turpeen paksuus on salaojitetulla koekentällä 1.0—1.5 cm ja turvelaji sekä turpeen maatumisaste seuraavat (H u i k a r i 1959 c, s. 12):

0—10 cm	LS—t H 3
11—20 cm	LCS—t H 5
21—30 cm	LCS—t H 5
31—40 cm	CS—t H 6
41—50 cm	ErCS—t H 6
51—60 cm	ErSC—t H 6

Syksyllä 1962 suoritetussa mikroskooppisessa turvetutkimuksessa ilmeni, että erot erilevyisten sarkojen pintaturpeen kasvinjäännöskoostumuksessa olivat verraten pienet. Kapeilla saroilla (5 m:n ja 10 m:n) oli 30 cm:n paksuisessa pintaturpeessa L-turvetekijän jäännöksiä enemmän kuin leveillä saroilla. On mahdollista, että 5 m:n ja 10 m:n levyisillä saroilla kasvavien puiden juuristo, joka ulottuu suhteellisen runsaana 30 cm:n syvyyteen asti (vrt. taulukko 14, s. 53) on lisännyt L-turvetekijään luettavien kasvinjäännösten määrää näillä saroilla enemmän kuin leveämmillä saroilla. Er-turvetekijän suhteellinen osuus turvetta muodostavista kasvinjäännöksistä oli 60 m:n ja 80 m:n saroilla suurempi kuin muilla saroilla.

Pintaturpeen (0—30 cm) tilavuuspainoksi saatiin (sulkeissa tutkittujen näytteiden luku):

Sarkaleveys, m *Strip-width, m*	Pintaturpeen tilavuuspaino, g/cm³ *Volume weight of surface peat, g/cm³*
5 (4)	0.137
10 (4)	0.122
20 (4)	0.104
40 (8)	0.093
60 (12)	0.098
80 (16)	0.107

Asetelmasta ilmenee, että 30 cm:n vahvuisen pintaturpeen tilavuuspaino oli kapeilla saroilla vähän suurempi kuin leveillä saroilla. 5 m:n ja 10 m:n sarkojen muita korkeammat arvot saattavat johtua siitä, että näiden sarkojen pintaturpeessa oli runsaasti puunjäännöksiä, joiden tilavuuspaino on suurempi kuin rahka- ja saraturpeiden (S a r a s t o 1960).

Salaojitetun koekentän puuston kuutiomäärä ja runkoluku mitattiin sarkojen poikki ulottuvien pohjavesikaivolinjojen (vrt. kuva 6, s. 31) kohdalta. Jokaisen kaivon luota otettiin 0.5 aarin suuruinen ympyräkoeala, jonka keskipisteenä oli ko. pohjavesikaivo. 5 m:n ja 10 m:n saroilla otettiin koealat kaikista juuristonäytteiden ottopaikoista, jolloin näytteenottopaikka oli koealan keskipisteenä. Ympyräkoealoilta saatujen mittaustulosten sarkakohtaiset yhdistelmät selviävät seuraavasta asetelmasta.

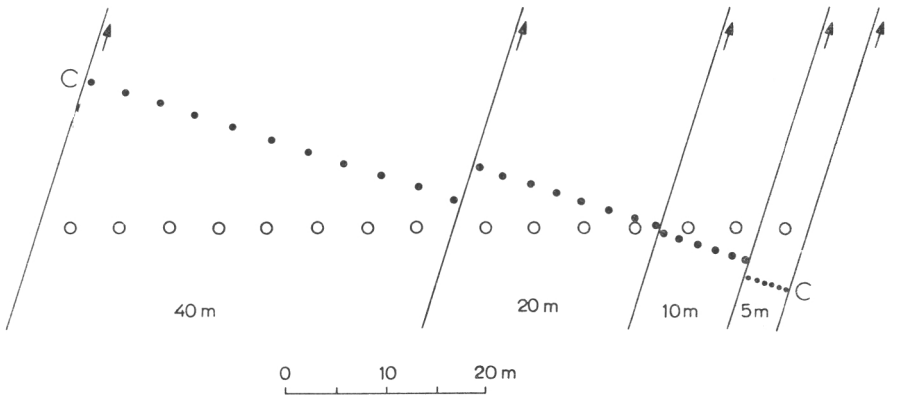
Sarkaleveys, m *Strip-width, m*	Puusto — *Growing stock* k-m³/ha kuorineen *m³/ha incl. bark*	Runkoluku, kpl/ha *Stem number/ha*
5	70.8	825
10	105.1	1 275
20	65.8	1 500
40	70.7	1 650
60	44.1	1 660
80	33.3	1 260

Havaitaan, että kapeiden ja leveiden sarkojen puuston kuutiomäärät poikkeavat toisistaan verraten paljon pohjavesikaivolinjojen kohdalla, sillä esim. 10 m:n saralla kuutiomäärä on yli kolme kertaa niin suuri kuin 80 m:n saralla. Runkoluku on pienin 5 m:n saralla eli puolet 40 m:n saran runkoluvusta. Vallitsevan puuston ikä on kaikilla saroilla 80—90 v.

Pohjaveden korkeus mitattiin v. 1962 edellä mainittujen pohjavesikaivolinjojen kaivoista, jotka sijaitsivat linjoilla 5 m:n päässä toisistaan. Mittaus tapahtui joka kolmas päivä kesä-elokuun aikana. Huikari (1959 c) on esittänyt vuosina 1954—1955 suoritettujen pohjaveden korkeuden mittauksien tuloksia samoista kohteista.

Juuristonäytteet otettiin linjoilta A-C poikkileikkauspinta-alaltaan 10 cm × 10 cm:n kokoisina. Linjojen A ja B näytteet (näytteenottosyvyys 20 cm) otettiin em. pohjavesikaivolinjoilta, yksi näyte jokaisen kaivon luota (0.5 m:n etäisyydellä kaivosta). 5 m:n ja 10 m:n saroilta otettiin pohjavesikaivojen kohdalta sarkojen pituussuunnassa 5 m:n välein lisänäytteitä, niin että näytteitä saatiin näiltäkin saroilta yhteensä kahdeksan. Näytteiden otto tapahtui 1.—3. 9. 1961. Linja C valittiin kulkemaan 5—40 m:n levyisten sarkojen poikki siten, että relaskoopilla mitattu puuston pohjapinta-ala oli linjan kohdalla erilevyisillä saroilla jokseenkin sama. Linjan C näytteenottopaikat nähdään kuvasta 8. Näytteet otettiin 50 cm:n syvyyteen asti 7.—14. 6. 1962. Kaikkiaan oli näytteitä linjoilta A-C 127 kpl ja näyteosia 694 kpl.

Salaojitetun koekentän puuston kasvu selvitettiin mittaamalla syksyllä 1962 linjojen A ja B jokaisen näytteenottopaikan kolmen lähimmän, rinnankorkeudelta 6 cm täyttävän puun kahdeksan ojituksen jälkeisen vuoden pituuskasvu ja yhtä monen vuoden pituuskasvu ennen ojitusta. Samoista puista otettiin myös kairalastut rinnankorkeudelta paksuuskasvun mittausta varten.



Kuva 8. Liesnevan tutkimusalueen linjan C juuristonäytteiden ottopaikat (pisteet) ja linjaa lähimpänä sijaitsevat pohjavesikaivot (ympyrät).

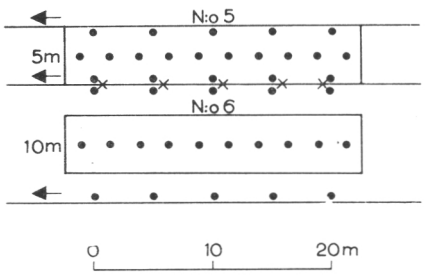
Figure 8. Points (dots) at which root samples were taken along line C at Liesneva, and the ground water holes closest to the line (circles).

Näytealat 1—10

Kuten edellä jo todettiin, oli salaojitetun koekentän kapeiden ja leveiden sarkojen puusto linjojen A ja B kohdalla erilaista. Sen vuoksi suoritettiin lisätutkimuksia sarkojen keskeltä valituilla 5 m × 20 m:n suuruisilla näytealoilla 1—10 (kuva 6, s. 31). Niiden puuston kuutiomäärä on jokseenkin sama, kuten seuraavasta asetelmasta selviää.

Näyteala *Sample plot*	Puusto — *Growing stock* k-m³/ha kuorineen *m³/ha incl. bark*
1	45.3
2	49.1
3	44.3
4	45.4
5	52.3
6	47.9
7	55.8
8	47.8
9	51.2
10	55.6

Näytealoilta 1—10 otettiin 4.—6. 9. 1962 suon pinnasta 30 cm:n syvyyteen asti ulottuneita juuristonäytteitä, kultakin näytealalta 10 kpl tasavälein pitkin näytealan keskiviivaa. Sen lisäksi otettiin juuriston syvyysjakaantumisen ja kasvun selvittämiseksi näytealojen 5 ja 6 kohdalta lisänäytteitä kuvassa 9 esitetyllä tavalla. Näytteitä (poikkileikkauspinta-ala 100 cm²) oli kaikkiaan 125 kpl ja näyteosia 740 kpl.



Kuva 9. Juuristonäytteiden ottopaikat Liesnevan tutkimusalueen näytealojen 5 ja 6 kohdalla. Näytteet otettiin keskisaioilta ja ojien läheltä 30 cm:n syvyyteen (pisteet) sekä salaojan päältä 20 cm:n syvyyteen (vinoristit).

Figure 9. Points at which root samples were taken in sample plots 5 and 6 at Liesneva. From the middle of the strips and near the ditches, the samples were taken to a depth of 30 cm (dots) and from the soil on top of the covered ditch to a depth of 20 cm (crosses).

Puuston kasvu selvitettiin mittaamalla näytealoilla 1—10 kymmenestä näytealan keskiviivaa lähinnä kasvaneesta puusta pituuskasvu samoin kuin linjoilla A-B (vrt. s. 36) ja ottamalla kairalastut rinnankorkeudelta paksuuskasvun mittausta varten.

Mainittakoon, että näytealat 1—4 sijaitsivat alueella, jossa on suoritettu NPK-lannoitus toukokuussa 1961. Sen vuoksi on niiltä saadut tutkimustulokset otettu huomioon vain selvitettäessä vesitalouden järjestelyn vaikutusta pitkäjuurten ja lyhytjuurten kokonaismäärään. Lannoituksen vaikutus näihin juuriston tunnuksiin ei ollut tutkimuksen suorittamiseen mennessä tilastollisesti merkitsevä, kuten varianssianalyysillä on todettu (Paavilainen 1963 a).

322. Vilppulan Jaakkoinsuo

Ilmasto-olojen puolesta Parkanon Liesnevaan verrattavalla Jaakkoinsuon koeojitusalueella (kuva 2, s. 23) tutkittiin, miten rämemännikön juurisuhteet ovat muuttuneet erilevyisiin sarkoihin ojitettaessa, kun ojituksesta on kulunut yli 10 kasvukautta. Juuristojen rakennetta selviteltiin metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston kasvutekijätutkimusten koealoilla 11—15, jotka ovat 4 aarin suuruisia ympyräkoealoja. Kuvasta 3 (s. 23) nähdään niiden sijainti. Ojituksessa käytetty sarkaleveys sekä ojituksen ikä v. 1963 ovat:

	Näyteala				
	11	15	14	12	13
Sarkaleveys, m	40	30	25	22	15
Ojituksen ikä, v.	40—48	13	13—26	28—40	26—28

Näytealat 11—14 sijaitsivat sarkojen keskiosissa. Näytealan 15 keskusta oli n. 10 m:n etäisyydellä lännenpuoleisesta sarkaojasta. Kaikkien näytealojen alkuperäinen suotyyppi on isovarpuinen tupasvillaräme. Jo v. 1948 alue on ollut rämemuuttumaa (Lukkala 1951, s. 15). Turvelaji ja turpeen maatumisaste ovat:

0.1 m	S—t H 3—4
0.3 m	ErS—t H 4—5
0.5 m	(Er)S—t H 6

Näytealoilla 12 ja 13 pintaturve oli vähän maatuneempaa kuin muilla näytealoilla.

Seuraavasta asetelmasta nähdään turpeen paksuus eri näytealoilla v. 1963. Koealan numero on merkitty sulkeisiin sarkaleveyden alle.

	Sarkaleveys, m				
	40 (11)	30 (15)	25 (14)	22 (12)	15 (13)
Turpeen paksuus, m	1.83	1.83	1.80	1.65	1.54

Asetelmasta todetaan, että näytealoilla 12 ja 13 turvekerros oli ohuempi kuin muilla näytealoilla. Tämän eron syynä on ilmeisesti turpeen voimakas painuminen kyseisillä, yli 25 vuoden ajan ojitettuna olleilla kapeilla saroilla.

Puuston kuutiomäärässä on eroja eri näytealojen välillä, kuten seuraava asetelma osoittaa. Runkoluku on likipitäen sama kaikilla näytealoilla. Puuston keski-ikä on 70—90 vuotta.

Sarkaleveys, m *Strip-width, m*	Puusto — *Growing stock* k-m³/ha kuorineen *m³/ha incl. bark*	Runkoluku, kpl/ha *Stem number/ha*
15	61.7	976
22	66.7	922
25	49.2	1 068
30	38.4	1 000
40	49.0	986

Pohjaveden korkeus on mitattu näytealoilla 11—15 vuosina 1956—1963 (kesä-elokuun aikana).

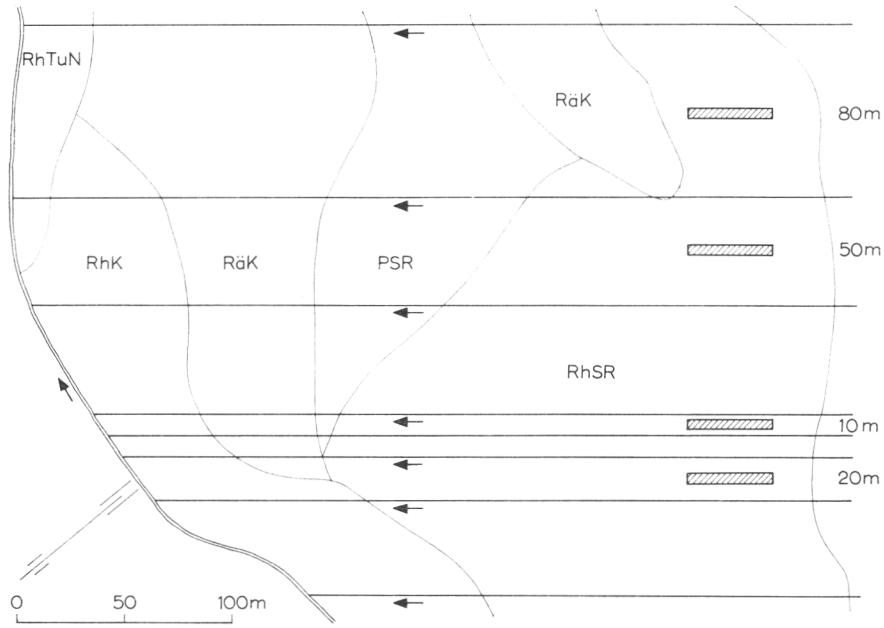
Juuristonäytteitä otettiin 30. 8. 1963 jokaiselta näytealalta tasaisin välimatkoin 12 kpl. Näytteenottosyvyys oli 50 cm ja näytteiden poikkileikkauspinta-ala 20 cm².

Puuston paksuuskasvu on selvitetty 6—7 puusta koealaa kohden rinnankorkeudelta otettujen kairalastujen perusteella. Myös koealojen puuston kuutiokasvu v. 1963 on selvitetty.

323. Rovaniemen Mortti

Pohjois-Suomesta tutkimuksia varten valittu Mortin suoalue (kuva 2, s. 23) on ojitettu erilevyisiä sarkoja käyttämällä v. 1956. Ojien syvyys on 60 cm. Juuristotutkimuksia suoritettiin tällä koekentällä v. 1962, jolloin 10, 20, 50 ja 80 m:n levyisten sarkojen keskeltä mitattiin kultakin 5 m × 40 m:n suuruinen näyteala (kuva 10).

Näytealojen suotyyppi on ruohoinen sararäme. Ojitus ei ole mainittavasti vaikuttanut erilevyisten sarkojen pintakasvillisuuteen. Vallitsevia lajeja kenttäkerroksessa olivat mm. *Betula nana, Menyanthes trifoliata, Potentilla*



Kuva 10. Yleiskartta Mortin tutkimusalueelta. Näytealat on merkitty suorakaiteilla.
Figure 10. Map of the Mortti experimental area. The sample plots are indicated by rectangles.

palustris, *Equisetum palustre*, *Carex lasiocarpa ja Carex chordorrhiza* sekä pohjakerroksessa mm. *Aulacomnium palustre*, *Sphagnum rubellum* ja *Sphagnum subsecundum*.

Turpeen paksuus on näytealoilla 0.9—1.2 m sekä pintaturpeen turvelaji ja maatumisaste seuraavat:

0.2 m	LC—t H 4
0.5 m	(L)C—t H 6

Näytealat pyrittiin valitsemaan puuston puolesta samankaltaisiksi, mutta tämä ei ollut koekentällä täysin mahdollista. Seuraavasta asetelmasta ilmenee, että 80 m:n saran näytealan puuston kuutiomäärä ja runkoluku ovat vähän pienemmät kuin muilla näytealoilla. Puuston ikä on pääasiassa 30—40 v. Yksittäisiä ylispuita (ikä 100—150 v.) on harvassa.

Sarkaleveys, m *Strip-width, m*	Puusto — *Growing stock* k-m³/ha kuorineen *m³/ha incl. bark*	Runkoluku, kpl/ha *Stem number/ha*
10	12.5	1 120
20	11.6	1 410
50	16.0	820
80	9.0	650

Juuristonäytteitä otettiin jokaiselta näytealalta 10 kpl tasavälein pitkin näytealan keskiviivaa. Näytteenottosyvyys oli 30 cm ja näytteiden poikkileikkauspinta-ala 10 cm × 10 cm. Näytteet otettiin 15. 8. 1962.

Puuston kasvu selvitettiin jokaisella näytealalla mittaamalla v. 1962 kymmenestä näytealan keskiviivaa lähimpänä kasvaneesta puusta viiden viimeisen vuoden pituuskasvu ja yhtä monen vuoden pituuskasvu ennen ojitusta. Samoista puista otettiin kairalastut rinnankorkeudelta paksuuskasvun mittaamista varten.

4. TULOKSET

Ojasyvyyskoekentiltä ja sarkaleveyskoekentiltä saatujen tulosten yhdistelevää tarkastelua vaikeuttaa se, että maan vesitalouden järjestely on suoritettu edellisissä näytealoja ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelyllä, jälkimmäisissä taas erilevyisiin sarkoihin ojittamalla. Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyyksiähän ei voida suoranaisesti rinnastaa tiettyihin sarkaleveyksiin pohjaveden korkeutta koskevien mittausten perusteella. Niinpä esimerkiksi Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentällä on pohjaveden etäisyys maanpinnasta ollut 70 cm:n säännöstelysyvyyttä ja 15 m:n ojaetäisyyttä käytettäessä suurempi kuin H u i k a r i n (1959 c) tutkimusten ja tässä tutkimuksessa saatujen tulosten mukaan Liesnevan sarkaleveyskoekentän 5 m:n saralla. Koekenttien vesitalouden järjestelyn välillä on myös ero siinä suhteessa, että ojasyvyyskoekentillä kuivatuksen tehokkuuden kasvu johtuu maassa olevan veden ja ojien vedenpinnan välisen korkeuseron lisääntymisestä, sarkaleveyskoekentillä sen sijaan veden kuljettavana olevan matkan lyhenemisestä. Verrattaessa keskenään eri koekentiltä saatuja tuloksia onkin esitettyjen näkökohtien perusteella otettava huomioon, miten vesitalouden järjestely on suoritettu.

Vertailutasoina tarkasteltaessa erilaisella tehokkuudella suoritetun kuivatuksen vaikutusta ovat ojasyvyyskoekentillä ne näytealat, joita ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10 cm. Näillä näytealoilla ojien vedenpinnan säännöstely on nostanut jonkin verran pohjavesipintaa, sillä pohjaveden etäisyys maanpinnasta on ollut vesitalouden järjestelyn jälkeen suunnilleen sama kuin runsassateisena aikana ennen vesitalouden järjestelyä. Sarkaleveyskoekentillä on vertailutasona ojittamaton suo tai 80 m:n levyinen sarka.

Suoritetuissa tutkimuksissa ilmeni, että Kivalon Sattasuon ojasyvyyskoekentällä juuriston rakenne oli sarjojen A ja B niillä näytealoilla, joita ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on sama, varsin samanlainen, eikä myöskään pohjaveden korkeudessa ollut mainittavaa eroa. Tämän takia esitetään ko. koekentältä saadut tulokset jäljempänä sarjojen A ja B yhdistetyn aineiston perusteella.

41. Juurten kokonaismäärä

Juurten määrissä todettujen erojen merkitsevyyttä tutkittiin, ellei toisin ole esitetty, varianssianalyysiä apuna käyttäen, jota varten aineistoissa suoritettiin logaritminen transformaatio. Tilastollisesti merkitsevä erotus laskettiin Dittmarin (1953, ss. 569—573) esittämällä tavalla.

Vilppulan Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentiltä saatujen tulosten mukaan maan vesitalouden järjestely ei ole tällä tutkimusalueella selvästi vaikuttanut juurten kokonaismäärään vuoteen 1963 mennessä eli kolmen kasvukauden kuluessa (taulukko 9). Koekentän A aineistosta suoritetun varianssianalyysin perusteella todettiin kyllä merkitsevä ero niiden näytealojen juurimäärien välillä, joita ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10 cm ja 50 cm, mutta vastaavaa tulosta ei saatu koekentältä B. Koekentän B näytealalla (säännöstelysyvyys 70 cm), jonka puuston kuutiomäärä oli suurin, oli juuria enemmän kuin muilla näytealoilla.

Jaakkoinsuon koekentällä B suoritettiin tutkimuksia myös v. 1965. Juuria oli tällöin näytealoilla keskimäärin vähemmän kuin kaksi vuotta aikaisemmin. Tämä ero saattaa hyvinkin johtua juuriston rakenteen vuotuisesta vaihtelusta, joka on varsin voimakasta (vrt. Kalela 1955, Heikurainen 1955 a). Verrattaessa keskenään eri näytealoilta saatuja tuloksia havaitaan,

Taulukko 9. Juurten kokonaismäärä Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekenttien näytealoilla.

Table 9. Total amount of roots on Jaakkoinsuo and Sattasuo ditch-depth experimental fields.

Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys, cm *Regulated water level in the ditches, cm*	Pohjaveden korkeus, cm v. 1963 *Ground water level, cm in 1963*	Juuria, m/m² vuonna *Roots, m/sq.m in the year*	
		1963	1965
Jaakkoinsuon koekenttä A — *Experimental field A at Jaakkoinsuo*			
10	13	364	—
30	38	507	—
50	46	638	—
70	58	576	—
Jaakkoinsuon koekenttä B — *Experimental field B at Jaakkoinsuo*			
10	12	530	433
30	46	525	434
50	58	530	553
70	64	752	646
Sattasuon koekenttä — *Experimental field at Sattasuo*			
10	12	212	—
30	30	294	—
50	41	245	—
70	54	133	—

että juuria oli myös v. 1965 eniten näytealalla, jota ympäröivän ojan vedenpinnan säännöstelysyvyys on 70 cm. Muiden näytealojen juurimäärien välillä ei ollut merkitsevää eroa.

Sattasuolla vuonna 1963 suoritettujen tutkimusten mukaan juurten kokonaismäärä oli samaa suuruusluokkaa niillä näytealoilla, joita ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10, 30 ja 50 cm. Näytealalla, jossa säännöstelysyvyys on 70 cm, juurten kokonaismäärä oli pienempi kuin muilla näytealoilla. Tämä ero on merkitsevä niihin näytealoihin nähden, joissa ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 30 cm ja 50 cm. Joskaan ei tiedetä, mikä juurten määrä on ollut eri näytealoilla ennen vesitalouden järjestelyä, viittaa tulos kuitenkin selvästi siihen, että juurten kokonaismäärä on vähentynyt Sattasuon tutkimusalueella kolmen kasvukauden kuluessa hyvin tehokkaan kuivatuksen vaikutuksesta.

Parkanon Liesnevan tutkimusalueelta saadut tulokset esitetään taulukossa 10. Kun tarkastellaan neliömetriä kohden laskettuja juurimääriä 20—80 m:n levyisillä saroilla, todetaan eri näytealoilla suoritettujen tutkimusten osoittavan yhtäpitävästi, että juuria oli kapeilla saroilla enemmän kuin leveillä. Tulos voi osaksi johtua puuston erilaisuudesta, kuten havaitaan verrattaessa keskenään kuutiomäärää kohden laskettuja juurimääriä. Kuitenkin myös niillä näytealoilla (salaojitetun koekentän näytealat 1—4 ja 7—10), joissa puuston kuutiomäärä on likipitäen sama, oli juurten kokonaismäärä 20—40 m:n levyisillä saroilla suurempi kuin 60—80 m:n saroilla. Varianssianalyysin perusteella todettiin, että näytealojen 1—4 ja 7—10 aineiston mukaan juurten kokonaismäärä kasvaa sarkaleveyden pienentyessä 80 m:stä 20 m:in. Luotettavuus oli 99 % ($F = 5.00^{**}$).

Juurten määrän riippuvuutta näytteenottopaikan ja ojien välisestä etäisyydestä voidaan tarkastella Liesnevan salaojitetun koekentän linjoilta A ja B otettujen näytteiden perusteella. Linjojen A ja B aineisto on sitä varten jaettu seuraaviin 12 ryhmään, joista jokainen käsittää 8 näytettä.

Ryhmä	Sarkaleveys, m	Etäisyys ojista,m	
1	80	0—10	
2	80	11—20	
3	80	21—40	alemmasta sarkaojasta
4	80	21—40	ylemmästä sarkaojasta
5	60	0—10	
6	60	11—20	
7	60	21—30	
8	40	0—10	
9	40	11—20	
10	20		
11	10		
12	5		

Taulukko 10. Juurten kokonaismäärä Liesnevan tutkimusalueen näytealoilla.

Table 10. Total amount of roots in sample plots at Liesneva.

Näytesarja[1]) *Sample series[1])*	Sarkaleveys, m — *Strip-width, m*													
	LT[2])	80	60	40	20	10	5	LT	80	60	40	20	10	5
	Juuria, m/m² *Roots, m/sq.m*							Juuria, km puuston m³ *Roots, km per cu.m of growing stock*						
a	—	324	362	525	502	848	312	—	98	82	74	76	81	44
b	—	484	486	651	686	513	382	—	87	95	136	123	107	73
c	—	304	304	405	512	354	669	—	298	163	162	161	109	204
d	419	—	368	601	1 026	816	680	220	—	197	241	323	251	207
e	—	324	718	669	658	—	—	—	71	162	136	145	—	—

[1]) a = Linjat A-B — *Lines A-B*, b = Näytealat 5—10 — *Sample plots 5—10*, c = Näytealat I—VI v. 1962 — *Sample plots I—VI in 1962*, d = Näytealat I—V ja VII v. 1963 — *Sample plots I—V and VII in 1963*, e = Näytealat 1—4 — *Sample plots 1—4.*

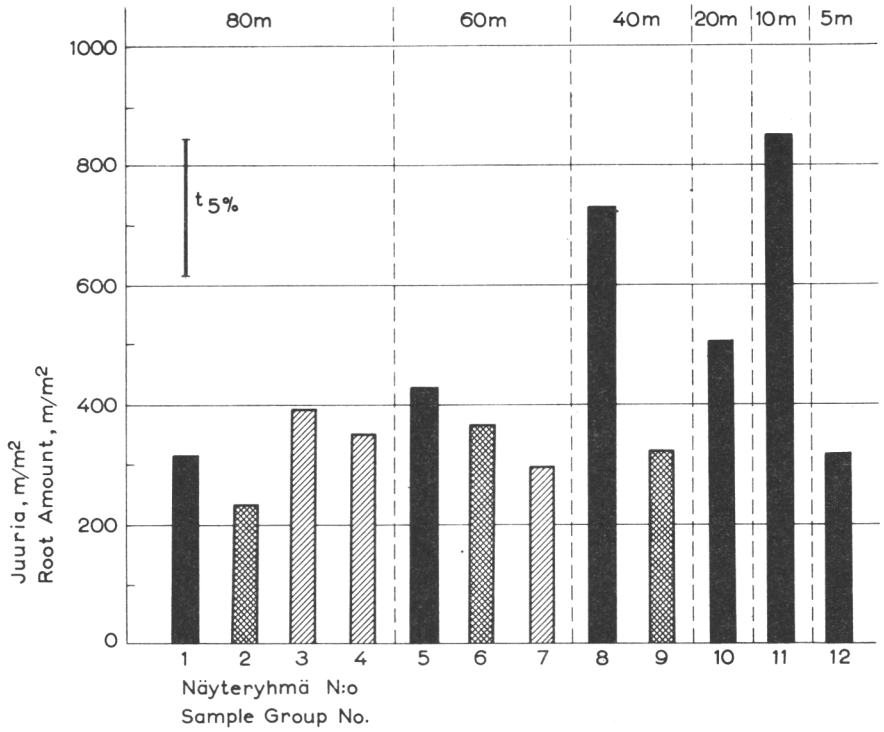
[2]) LT = Ojittamaton tupasvillaräme — *Undrained cottongrass (Eriophorum vaginatum) pine swamp.*

Ryhmien välisten erojen tilastollista luotettavuutta voitaisiin selvittää vertaamalla kunkin ryhmän näytteiden juurimäärien hajontoja. Paremman yleiskatsauksen saamiseksi tutkittiin luotettavuutta kuitenkin laskemalla se varmuusväli, jonka ylittävä keskiarvojen erotus on tilastollisesti merkitsevä (luotettavuus 95 %). Sitä varten laskettiin aluksi ryhmien 1—12 juurimäärien keskiarvot erikseen linjoilta A ja B, jolloin saatiin kaksi toisiaan vastaavaa 4 näytteen keskiarvoa M_A ja M_B. Näistä ryhmäkeskiarvoista laskettiin keskiarvojen erotuksen keskihajonnan arvio seuraavalla kaavalla (H a l d 1955, s. 289):

$$S_d = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{1}^{12} (M_A - M_B)^2}$$

Kertomalla näin saadulla luvulla 12 vapausastetta vastaava $t_{5\,\%}$-arvo 2.179 saatiin kahden keskiarvon erotuksen 95 %:nen varmuusväli.

Kuvasta 11, jossa esitetään ryhmien 1—12 juurimäärien keskiarvot sekä niiden erotuksen 95 %:nen varmuusväli ($t_{5\,\%}$), ilmenee, että 20 m:n saran ja 40 m:n saran ojien läheltä otetuissa näytteissä oli runsaammin juuria kuin 40 m:n saran keskiosan näytteissä. Myös 60 m:n saralla näyttää juurten määrä olleen ojien lähellä suurempi kuin saran keskellä, erojen olematta kuitenkaan merkitseviä. Kun 40 m:n ja 60 m:n levyisten sarkojen puusto oli verraten tasaista kautta koko saran, on ilmeistä, että juurimäärissä todetut erot sarkojen reunaosan ja keskisaran välillä johtuvat erilaisesta vesitaloudesta. Sen sijaan 80 m:n saralla, jossa puustoa oli keskellä sarkaa tuntuvasti enemmän kuin ojien lähellä, on juuria ollut eniten saran keskiosissa.



Kuva 11. Juurten määrä 0—20 cm:n syvyydessä Liesnevan salaojitetulla koekentällä ojaetäisyyden perusteella erotetuissa näyteryhmissä 1—12 (mustat pylväät = etäisyys ojaan 0—10 m, ristiviivoitetut pylväät = 11—20 m, vinoviivoitetut pylväät = 21—30 m).

Figure 11. The amount of roots at a depth of 20 cm on the covered-ditch experimental field at Liesneva in sample groups 1—12, into which the samples were divided on the basis of their distance from the nearest ditch (black bar graph = distance to ditch 0—10 m, cross-hatched graph = 11—20 m, diagonally shaded graph = 21—30 m).

Maan vesitalouden järjestely, joka on suoritettu ojittamalla 20 m:ä kapeampiin sarkoihin, ei näytä taulukon 10 mukaan lisänneen Liesnevalla juurten kokonaismäärää 20 m:n sarkaan verrattuna. Juurimäärä oli yleensä 5 m:n ja 10 m:n levyisillä saroilla pienempi kuin 20 m:n saralla. Selvin poikkeus tästä todetaan kuvassa 11, jonka mukaan 10 m:n saralla on ollut enemmän juuria kuin sitä leveämmillä saroilla. Tulos johtuu ilmeisesti siitä, että 10 m:n saran puuston kuutiomäärä oli huomattavasti suurempi kuin muiden sarkojen (vrt. s. 36). 5 m:n saralla on kuvan 11 mukaan ollut vähemmän juuria kuin siihen puuston kuutiomäärän puolesta rinnastettavilla 20 m:n ja 40 m:n saroilla.

Taulukosta 11 nähdään pitkäjuurten kokonaismäärä Vilppulan Jaakkoinsuon sarkaleveyskoekentällä. Tarkasteltaessa näytealoilta 11, 12 ja 13 saatuja tuloksia todetaan, että juuria oli eniten näytealalla 13, joka sijaitsi

Taulukko 11. Juurten kokonaismäärä Jaakkoinsuon sarkaleveyskoekentän näytealoilla.

Table 11. Total amount of roots on Jaakkoinsuo strip-width experimental field.

Näyteala *Sample plot*	Sarkaleveys, m *Strip-width, m*	Pohjaveden korkeus, cm v. 1963 *Ground water level, cm in 1963*	Juuria, m/m² *Roots, m/sq.m*
11	40	40	709
15	30	46	940
14	25	40	804
12	22	52	812
13	15	50	1 524

15 m:n levyisellä saralla. Näytealalla 12 (sarkaleveys 22 m) juurten määrä oli taas suurempi kuin näytealalla 11 (sarkaleveys 40 m), joskaan ero ei ole merkitsevä. Tulosten mukaan kuivatuksen vaikutus pitkäjuurten kokonaismäärään on ollut Jaakkoinsuon vanhalla ojitusalueella vastaavanlainen kuin Liesnevalla. Juurten kokonaismäärä on ollut yli 25 vuoden kuluttua ojituksen suorittamisesta sitä suurempi, mitä kapeampaa sarkaa vesitalouden järjestelyssä on käytetty. Vertailua ei tosin voida suorittaa 5 m:n ja 10 m:n levyisten sarkojen osalta, koska näin kapeita sarkoja ei ollut Jaakkoinsuon koekentällä.

Taulukosta 11 havaitaan edelleen, että kokonaisjuurimäärä oli suunnilleen samansuuruinen 13 ja 13—26 vuotta ojitettuna olleilla näytealoilla (14—15) kuin niitä huomattavasti kauemmin ojitettuna olleilla näytealoilla (11—12). Kuivatuksen tehokkuus on kummassakin tapauksessa likipitäen sama.

Mortin tutkimusalueen näytealoilla oli pitkäjuurten kokonaismäärä seuraava:

	Sarkaleveys, m — *Strip-width, m*			
	80	50	20	10
Juuria, m/m² — *Roots, m/sq.m*	50	52	115	117

Asetelmasta havaitaan, että juurten kokonaismäärä oli 10—20 m:n levyisillä saroilla suurempi kuin 50—80 m:n levyisillä saroilla. On ilmeistä, että tämä juurten määrässä todettu ero kapeiden ja leveiden sarkojen välillä johtuu vesitalouden erilaisuudesta, sillä eri näytealojen puusto oli lähes samanlaista. Asetelmasta nähdään myös, että kokonaisjuurimäärä oli miltei sama 10 m:n ja 20 m:n saroilla.

Edellä esitettyjen tulosten mukaan rämemännikön pitkäjuurten kokonaismäärä kasvaa kuivatuksen vaikutuksesta, mihin johtopäätökseen on tultu myös aikaisempien tutkimusten perusteella (Multamäki 1923, Laitakari 1927, Heikurainen 1955 b).

Kuivatuksen tehokkuudella näyttää olevan huomattava vaikutus juurten kokonaismäärän kasvuun Etelä-Suomen oloissa. Juurten kokonaismäärä kasvaa todennäköisesti tiettyyn rajaan asti sitä voimakkaammin, mitä tehokkaammin ojitus suoritetaan. Yhä tehokkaampi kuivatus ei enää vaikuttane juurten kokonaismäärää lisäävästi. Parkanon Liesnevalla ylitettiin mainittu ojitustehon raja 5 m:n ja 10 m:n saroilla, joissa juuria oli yleensä vähemmän kuin 20 m:n saralla.

Koska oli mahdollista, että juuriston suuntautuminen on vaikuttanut Liesnevan 5 m:n ja 10 m:n saroilta saatuihin tuloksiin, tutkittiin erikseen juuriston tiheyttä näillä kapeilla saroilla. Tulokset esitetään seuraavassa asetelmassa.

Koekenttä	Sarkaleveys, m	Keskisarka	Ojan reuna	Salaojan kohta
		Juuria, m/m²		
Avo-ojitettu	5	460	659	—
» »	10	461	544	—
Salaojitettu	5	382	352	—
» »	10	512	492	543

Todetaan, että avo-ojitetulla alueella juuria oli ojien lähellä jonkin verran enemmän kuin keskellä sarkaa sekä 5 m:n että 10 m:n saralla. Tulos viittaa siihen, että avo-ojitetun koekentän kapeilla saroilla juuristo on hakeutunut ojia kohti. Samantapaisesta juuriston suuntautumisesta mainitsee K o k k o n e n (1923, s. 20) tutkimuksessaan. Hän päättelee juuriston hakeutuvan ojiin päin etenkin, jos pohjavesi on seisovaa. Juurilla on ojien lähellä enemmän tilaa, ja hänen mukaansa juuristo ehkä voisi käyttää hyväkseen ojissa olevaa vettä kuivana aikana.

Salaojitetulta koekentältä saatu tulos on avo-ojitetulta saatuun nähden osaksi päinvastainen. Juurten määrä oli ojien lähellä keskimäärin hieman pienempi kuin keskisaralla. Asetelmasta ilmenee kuitenkin, että 5 m:n ja 10 m:n sarkojen puusto on kasvattanut tiheän juuriverkon näytealojen välissä kulkevan salaojan päälle ojituksesta kuluneiden 9 kasvukauden aikana.

Esitettyjen tulosten mukaan juuria on saattanut kasvaa 5 m:n ja 10 m:n saroilla ojituksen jälkeen ojien reunoihin ja salaojitusta käytettäessä ojien päällä olevaan turpeeseen. Tämän vuoksi sarkojen keskeltä otetut näytteet eivät ehkä anna täysin oikeaa kuvaa juurten kokonaismäärästä näillä kapeilla saroilla. Todennäköistä kuitenkin on, ettei juurimäärien ero 5—10 m:n sarkojen ja niitä leveämpien sarkojen välillä johdu yksinomaan juurten hakeutumisesta ojien läheisyyteen. Voidaan olettaa, että hyvin tehokas kuivatus muuttaa kasvupaikan ominaisuuksia niin voimakkaasti puiden kasvulle edulliseen suuntaan, että ne tulevat toimeen suppean juuriverkon turvin. Kivennäismailla suoritettujen tutkimusten mukaan puuston kuutiomäärää kohden

laskettu juurimäärä on sitä pienempi, mitä paremmasta kasvupaikasta on kysymys (Aaltonen 1920, 1923, Laitakari 1927, Kalela 1949).

Juurten kokonaismäärän kasvun riippuvuus vesitalouden järjestelystä kuluneesta ajasta oli myös tutkimusten kohteena. Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentältä saatujen tulosten mukaan juurten määrä muuttuu verraten hitaasti. Tehokaskaan kuivatus ei ole ilmeisesti vaikuttanut juurten määrään lähes viiden kasvukauden aikana. Juurten kokonaismäärän lisäys todettiin selvästi vasta n. 10 vuoden ajan ojitettuna olleella Liesnevan tutkimusalueella. Edelleen voidaan päätellä Jaakkoinsuon sarkaleveyskoekentällä suoritettujen tutkimusten perusteella, että ensimmäiset 10—20 vesitalouden järjestelyn jälkeistä vuotta ovat todennäköisesti ratkaisevia juurten kokonaismäärän kasvulle. Tämän jälkeen juurten määrä lisääntynee enää suhteellisen vähän ojituksen vanhetessa. Esitetyt päätelmät koskevat luonnollisesti vain varttuneita metsiköitä, joissa juuriston määrä lisääntyy hyvin hitaasti puuston iän kasvaessa (vrt. Kalela 1949, ss. 25—26, Heikurainen 1955 b, ss. 29—30).

Kivalon Sattasuon ja Rovaniemen Mortin alueelta saatujen tulosten mukaan rämemännikön kokonaisjuurimäärä lisääntyy kuivatuksen vaikutuksesta Pohjois-Suomessa vallitsevissa ilmasto-oloissa samaan tapaan kuin Etelä-Suomessa. Kuivatuksen tehokkuuden ja juurten määrän kasvun välisen riippuvuussuhteen vertailu ei ole tosin täysin luotettavaa esim. Liesnevan ja Mortin tutkimusalueiden kesken, koska koekentät ovat suotyypin, turvelajin, puuston ja myös maanpinnan kaltevuuden (Liesnevalla 3/1 000, Mortissa 5/1 000) puolesta erilaiset. Näyttää kuitenkin siltä, että juurten määrän kehitys erilevyisillä saroilla on ollut vajaan 10 vuoden kuluessa ojituksen suorittamisesta lukien samanlainen kummallakin alueella. Juurten kokonaismäärä on lisääntynyt molemmissa sarkaleveyden pienentyessä 80 m:stä 20 m:in. Kuivatuksen ollessa vielä tehokkaampi juurten määrä ei ole kasvanut 20 m:n sarkaan verrattuna. Kivalon Sattasuolta saadut tulokset viittaavat lisäksi siihen, että hyvin tehokas kuivatus voi johtaa Pohjois-Suomessa varsin nopeasti juurten kokonaismäärän vähentymiseen.

Tuloksia tarkasteltaessa on merkille pantavaa myös juurten kokonaismäärissä todettu huomattava ero Etelä- ja Pohjois-Suomessa sijainneiden tutkimusalueiden välillä. Esimerkiksi Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekenttien näytealoilla juurimäärä vaihteli 364—752 m/m^2:n välillä, mutta Sattasuon kaikilla näytealoilla juuria oli alle 300 m/m^2. Tätä juurten määrässä todettua eroa ei voida selittää suotyypistä tai puustosta johtuvaksi. Suotyypin perusteella arvostellen olisi juurten kokonaismäärän päinvastoin pitänyt olla Sattasuolla suurempi kuin Jaakkoinsuolla, sillä niinkuin Heikuraisen (1955 b, 1958, 1961) tutkimukset osoittavat, männikön juuriston määrä on sararämeellä suurempi kuin isovarpuisella tupasvillarämeellä samoissa ilmasto-oloissa. Mahdollinen puuston vaikutus juurten kokonaismäärään on myös

päinvastainen juurimäärissä havaitun eron kanssa, koska puuston kuutiomäärä ja runkoluku olivat Sattasuolla jonkin verran suuremmat kuin Jaakkoinsuolla. Juuriston rakenteen kasvukautinen vaihtelu on sen sijaan saattanut vaikuttaa juurimäärien erilaisuuteen Sattasuon ja Jaakkoinsuon tutkimusalueilla, vaikkakaan näytteenottoajoissa ei ollut suurta eroa (näytteet otettiin Sattasuolta 1.—3. 8. 1963 ja Jaakkoinsuolta 27.—29. 8. 1963). Ero juurimäärissä on kuitenkin niin suuri, että siihen lienee huomattava osuus myös ilmastollisilla syillä.

Myös Mortin tutkimusalueen kaikilla näytealoilla juurten kokonaismäärä oli varsin pieni, 50—117 m/m^2. Etelä-Suomessa on Mortin näytealoja puuston koon puolesta vastaavan rämemännikön (15 m^3/ha) kokonaisjuurimäärä ollut Heikuraisen (1955 b, s. 29) tutkimusten mukaan 616 m/m^2.

Edellä suoritetun vertailun perusteella vaikuttaa ilmeiseltä, että rämemännikön kokonaisjuurimäärä on Pohjois-Suomessa pienempi kuin vastaavanlaisessa metsikössä Etelä-Suomessa.

42. Juurten syvyysjakaantuminen

Taulukossa 12 esitetään ne tutkimustulokset, jotka on saatu juurten määrästä eri syvyyskerroksissa Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekenttien näytealoilla.

Havaitaan, että Jaakkoinsuon koekentän A kaikilla näytealoilla yli puolet juurista oli 0—5 cm:n syvyydessä. Vesitalouden järjestelyä edeltäneeseen tasoon verrattuna on 0—5 cm:n syvyydessä olevien juurten suhteellinen osuus kokonaisjuurimäärästä vähän lisääntynyt kaikilla näytealoilla. Eniten oli juuria 5 cm:ä syvemmällä näytealalla, jota ympäröivän ojan vedenpinnan säännöstelysyvyys on 70 cm.

Vuonna 1963 suoritetut tutkimukset osoittavat, että myös Jaakkoinsuon koekentällä B yli puolet juurista oli 0—5 cm:n syvyydessä. Juuria oli 20 cm:ä syvemmällä vain yhdellä näytealalla (säännöstelysyvyys 10 cm), jossa juuria oli myös suhteellisesti eniten 5 cm:ä syvemmissä kerroksissa. Juuristo oli pinnallisin näytealalla, jossa säännöstelysyvyys on 70 cm.

Vuonna 1965 saatujen tulosten mukaan juurten syvyysjakaantuminen on muuttunut Jaakkoinsuon koekentällä B siten, että juuria oli kaikilla näytealoilla syvemmällä kuin kaksi vuotta aikaisemmin. Valtaosa juurista oli kuitenkin edelleen aivan suon pintakerroksessa.

Sattasuon tutkimusalueen kaikilla näytealoilla oli yli 80 % juurista 0—5 cm:n syvyydessä. Näytealoilla, joita ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10 cm, juuria ei todettu olevan tutkimusvuonna lainkaan 10 cm:ä syvemmällä, ja muillakin näytealoilla juurten määrä oli varsin pieni yli 10 cm:n syvyydessä.

Taulukko 12. Juurten syvyysjakaantuminen Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekenttien näytealoilla.

Table 12. Vertical distribution of roots on Jaakkoinsuo and Sattasuo ditch-depth experimental fields.

Syvyyskerros, cm *Depth layer, cm*	Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys, cm *Regulated water level in the ditches, cm*								
	10	30	50	70	10	30	50	70	N[1])
	Juuria, m/m² *Roots, m/sq.m*				% juurten kokonaispituudesta *Per cent of total length of roots*				
Jaakkoinsuon koekenttä A v. 1963 — *Experimental field A at Jaakkoinsuo in 1963*									
0—5	320	458	529	437	87.9	90.3	82.9	75.9	66.8
5—10	38	44	77	99	10.4	8.7	12.1	17.2	25.1
10—15	6	5	24	28	1.6	1.0	3.8	4.9	6.3
15—20	—	—	8	12	—	—	1.3	2.1	1.8
Yhteensä — *Total*	364	507	638	576	100	100	100	100	100
Jaakkoinsuon koekenttä B v. 1963 — *Experimental field B at Jaakkoinsuo in 1963*									
0—5	341	418	425	629	64.3	79.6	80.2	83.6	—
5—10	148	89	80	112	27.9	17.0	15.1	14.9	—
10—15	30	16	23	11	5.7	3.0	4.3	1.5	—
15—20	10	2	2	—	1.9	0.4	0.4	—	—
20—25	1	—	—	—	0.2	—	—	—	—
Yhteensä — *Total*	530	525	530	752	100	100	100	100	—
Jaakkoinsuon koekenttä B v. 1965 — *Experimental field B at Jaakkoinsuo in 1965*									
0—5	193	283	401	488	44.6	65.2	72.5	75.5	—
5—10	136	112	134	132	31.4	25.8	24.2	20.4	—
10—15	50	26	12	15	11.5	6.0	2.2	2.3	—
15—20	24	3	5	6	5.5	0.7	0.9	0.9	—
20—25	21	7	1	4	4.8	1.6	0.2	0.6	—
25—30	9	3	—	1	2.1	0.7	—	0.2	—
Yhteensä — *Total*	433	434	553	646	100	100	100	100	—
Sattasuon koekenttä v. 1963 — *Experimental field at Sattasuo in 1963*									
0—5	178	264	228	120	84.0	89.8	93.1	90.2	—
5—10	34	25	16	11	16.0	8.5	6.5	8.3	—
10—15	—	4	1	2	—	1.4	0.4	1.5	—
15—20	—	1	—	—	—	0.3	—	—	—
Yhteensä — *Total*	212	294	245	133	100	100	100	100	—

[1]) N = Juurten syvyysjakaantuminen ennen vesitalouden järjestelyä — *Vertical distribution of roots, prior to water regulation.*

Esitetyistä tuloksista ilmenee, ettei juuriston syvyysjakaantumisen ja kuivatuksen tehokkuuden välillä ollut selvää riippuvuussuhdetta Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekentillä. Tämä nähdään myös taulukosta 13, jossa on esitetty juuriston alaraja ja keskimääräinen syvyysulottuvuus eri näytealoilla. Niinpä Jaakkoinsuon koekentällä A juuriston syvyys lisääntyy hieman pohjaveden korkeuden kasvaessa, mutta koekentällä B on tultu päinvastaiseen tulokseen. Jaakkoinsuon koekentällä B todettu juuriston syveneminen vuodesta 1963 vuoteen 1965 mennessä ei myöskään ole selvässä korre-

Taulukko 13. Juuriston alaraja ja keskimääräinen syvyysulottuvuus Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekenttien näytealoilla.

Table 13. Lower limit of the root systems and the mean root penetration on Jaakkoinsuo and Sattasuo ditch-depth experimental fields.

Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys, cm *Regulated water level in the ditches, cm*	Pohjaveden korkeus, cm v. 1963 *Ground water level, cm in 1963*	Juuriston alaraja, cm vuonna *Lower limit of root system, cm in the year*		Juuriston keskimääräinen syvyysulottuvuus, cm vuonna *Mean root penetration, cm in the year*	
		1963	1965	1963	1965
Jaakkoinsuon koekenttä A — *Experimental field A at Jaakkoinsuo*					
10	13	15	—	9.6	—
30	38	15	—	9.6	—
50	46	20	—	13.3	—
70	58	20	—	12.9	—
Jaakkoinsuon koekenttä B — *Experimental field B at Jaakkoinsuo*					
10	12	25	30	12.8	17.6
30	46	20	30	11.5	15.0
50	58	20	25	11.0	12.8
70	64	15	30	11.3	15.0
Sattasuon koekenttä — *Experimental field at Sattasuo*					
10	12	10	—	7.0	—
30	30	20	—	7.7	—
50	41	15	—	7.2	—
70	54	15	—	6.4	—

laatiossa kuivatuksen tehokkuuden kanssa, sillä juuriston keskimääräinen syvyysulottuvuus on lisääntynyt suunnilleen yhtä paljon kaikilla näytealoilla. Voidaan kuitenkin todeta, että juuriston alarajan syveneminen on ollut suurin näytealalla, jota ympäröivän ojan vedenpinnan säännöstelysyvyys on 70 cm.

Liesnevan tutkimusalueen avo-ojitetulla koekentällä (näytealat I—VII) juuria oli 40—80 m:n saroilla vain 0—20 cm:n syvyydessä (taulukko 14). Niitä kapeammilla saroilla juuria oli myös 20 cm:ä syvemmällä, mutta suhteellisen vähän. Näytealoilta I—VI v. 1962 saatujen tulosten perusteella näyttää tosin siltä, että juuria olisi ollut 5 m:n saralla verraten runsaasti myös 20 cm:ä syvemmällä. Koska ko. keskiarvot on kuitenkin laskettu vain kuudesta näytteestä ja seuraavana vuonna on suuremman aineiston perusteella tultu erilaiseen tulokseen, on 5 m:n saralta v. 1962 saatua, syvällä olevien juurten määrää koskevaa tulosta pidettävä jonkin verran epävarmana.

Juurten syvyysjakaantumista koskevat tulokset ovat Liesnevan salaojitetulla koekentällä (näytealat 5—10 ja linjat A-B) samansuuntaisia kuin avo-ojitetulla koekentällä. Taulukosta 14 nähdään, että juuria oli 20—80 m:n saroilla, 40 m:n levyistä sarkaa lukuunottamatta, vain 0—20 cm:n kerroksessa. Juurten määrä oli 40 m:n sarallakin melko pieni 20 cm:ä syvemmällä.

Taulukko 14. Juurten syvyysjakaantuminen Liesnevan tutkimusalueen näytealoilla.

Table 14. Vertical distribution of roots in sample plots at Liesneva.

Syvyyskerros, cm *Depth layer, cm*	Sarkaleveys, m — *Strip-width, m*													
	LT[1])	80	60	40	20	10	5	LT	80	60	40	20	10	5
	Juuria, m/m² *Roots, m/sq.m*							% juurten kokonaispituudesta *Per cent of total length of roots*						
Näytealat I—VI v. 1962 (näytteenottosyvyys 50 cm) *Sample plots I—VI in 1962 (sampling depth 50 cm)*														
0—5	—	171	212	271	311	224	258	—	56.3	69.7	66.9	60.7	63.3	38.6
5—10	—	116	87	107	166	103	202	—	38.2	28.6	26.4	32.4	29.1	30.2
10—15	—	17	4	22	30	18	83	—	5.6	1.3	5.4	5.9	5.1	12.4
15—20	—	—	1	5	3	6	47	—	—	0.3	1.2	0.6	1.7	7.0
20—25	—	—	—	—	2	3	46	—	—	—	—	0.4	0.8	6.9
25—30	—	—	—	—	—	—	24	—	—	—	—	—	—	3.6
30—35	—	—	—	—	—	—	7	—	—	—	—	—	—	1.0
35—40	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	0.3
Yhteensä — *Total*	—	304	304	405	512	354	669	—	100	100	100	100	100	100
Näytealat I—V ja VII v. 1963 (näytteenottosyvyys 50 cm) *Sample plots I—V and VII in 1963 (sampling depth 50 cm)*														
0—5	249	—	254	465	702	610	460	59.4	—	69.0	77.4	68.4	74.8	67.6
5—10	162	—	101	127	251	150	136	38.7	—	27.4	21.1	24.5	18.4	20.0
10—15	6	—	11	9	64	39	54	1.4	—	3.0	1.5	6.2	4.8	7.9
15—20	2	—	2	—	6	16	22	0.5	—	0.5	—	0.6	2.0	3.2
20—25	—	—	—	—	3	1	4	—	—	—	—	0.3	0.1	0.6
25—30	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	0.3
30—35	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	0.1
35—40	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	0.1
Yhteensä — *Total*	419	—	368	601	1 026	816	680	100	—	100	100	100	100	100
Näytealat 5—10 (näytteenottosyvyys 30 cm) *Sample plots 5—10 (sampling depth 30 cm)*														
0—5	—	274	275	409	333	311	170	—	56.6	56.6	62.8	48.5	60.6	44.5
5—10	—	162	160	166	264	107	84	—	33.5	32.9	25.5	38.5	20.9	22.0
10—15	—	48	50	59	81	40	37	—	9.9	10.3	9.1	11.8	7.8	9.7
15—20	—	△	1	15	8	14	20	—	0.1	0.2	2.3	1.2	2.7	5.2
20—25	—	—	—	2	—	22	41	—	—	—	0.3	—	4.3	10.7
25—30	—	—	—	—	—	19	30	—	—	—	—	—	3.7	7.9
Yhteensä — *Total*	—	484	486	651	686	513	382	—	100	100	100	100	100	100
Linjat A-B (näytteenottosyvyys 20 cm) *Lines A-B (sampling depth 20 cm)*														
0—5	—	219	212	304	338	436	144	—	67.6	58.6	57.9	67.3	51.4	46.2
5—10	—	71	130	155	133	181	98	—	21.9	35.9	29.5	26.5	21.3	31.4
10—15	—	28	17	46	27	121	38	—	8.6	4.7	8.8	5.4	14.3	12.2
15—20	—	6	3	20	4	110	32	—	1.9	0.8	3.8	0.8	13.0	10.3
Yhteensä — *Total*	—	324	362	525	502	848	312	—	100	100	100	100	100	100

[1]) LT = Ojittamaton tupasvilläräme — *Undrained cottongrass (Eriophorum vaginatum) pine swamp.*

Taulukko 15. Juurten syvyysjakaantuminen Jaakkoinsuon sarkaleveyskoekentän näytealoilla.

Table 15. Vertical distribution of roots on Jaakkoinsuo strip-width experimental field.

Syvyyskerros, cm *Depth layer, cm*	Sarkaleveys, m — *Strip-width, m*									
	40	30	25	22	15	40	30	25	22	15
	Juuria, m/m² *Roots, m/sq.m*					% juurten kokonaispituudesta *Per cent of total length of roots*				
0—5	550	685	630	636	1 097	77.6	72.9	78.4	78.3	72.0
5—10	143	183	134	101	283	20.2	19.5	16.7	12.4	18.6
10—15	14	56	35	60	112	2.0	6.0	4.4	7.4	7.3
15—20	1	14	5	15	24	0.1	1.5	0.6	1.8	1.6
20—25	1	2	—	—	8	0.1	0.2	—	—	0.5
Yhteensä — *Total*	709	940	804	812	1 524	100	100	100	100	100

Sen sijaan 5 m:n ja 10 m:n saroilla juuria oli suhteellisen runsaasti vielä yli 20 cm:n syvyydessä.

Jaakkoinsuon vanhalla ojitusalueella juuriston syvyysjakaantuminen oli suuressa määrin samanlainen kuin Liesnevan tutkimusalueen vastaavilla sarkaleveyksillä. Taulukosta 15 nähdään, että valtaosa juurista oli 0—10 cm:n syvyydessä, eikä juuristo ulottunut yhdelläkään näytealalla 25 cm:ä syvemmälle. Eniten oli juuria 10 cm:ä syvemmällä 15 m:n levyisellä saralla (näyteala 13).

Mortin tutkimusalueen näytealoilla (taulukko 16) enin osa juurista oli 0—5 cm:n kerroksessa. Juuria oli 20—80 m:n levyisillä saroilla vain 0—10 cm:n syvyydessä, mutta 10 m:n saralla aina 15—20 cm:n kerrokseen asti.

Sarkaleveyskoekentiltä saadut tulokset osoittavat, että juuriston syvyys oli sitä suurempi, mitä kapeampaa sarkaa ojituksessa on käytetty. Seuraavassa tarkastellaan vielä erisuuruisen pohjavesipinnan alentamisen ja juuriston syvyyden välistä vuorosuhdetta näillä koekentillä.

Taulukko 16. Juurten syvyysjakaantuminen Mortin tutkimusalueen näytealoilla.

Table 16. Vertical distribution of roots in sample plots at Mortti.

Syvyyskerros, cm *Depth layer, cm*	Sarkaleveys, m — *Strip-width, m*							
	80	50	20	10	80	50	20	10
	Juuria, m/m² *Roots, m/sq.m*				% juurten kokonaispituudesta *Per cent of total length of roots*			
0—5	38	34	90	85	76.0	65.4	78.3	72.6
5—10	12	18	25	29	24.0	34.6	21.7	24.8
10—15	—	—	—	2	—	—	—	1.7
15—20	—	—	—	1	—	—	—	0.9
Yhteensä — *Total*	50	52	115	117	100	100	100	100

Liesnevan avo-ojitetun koekentän näytealoilla juuriston alaraja oli sitä syvemmällä, mitä suurempi oli pohjaveden etäisyys maanpinnasta, kuten seuraavasta asetelmasta nähdään.

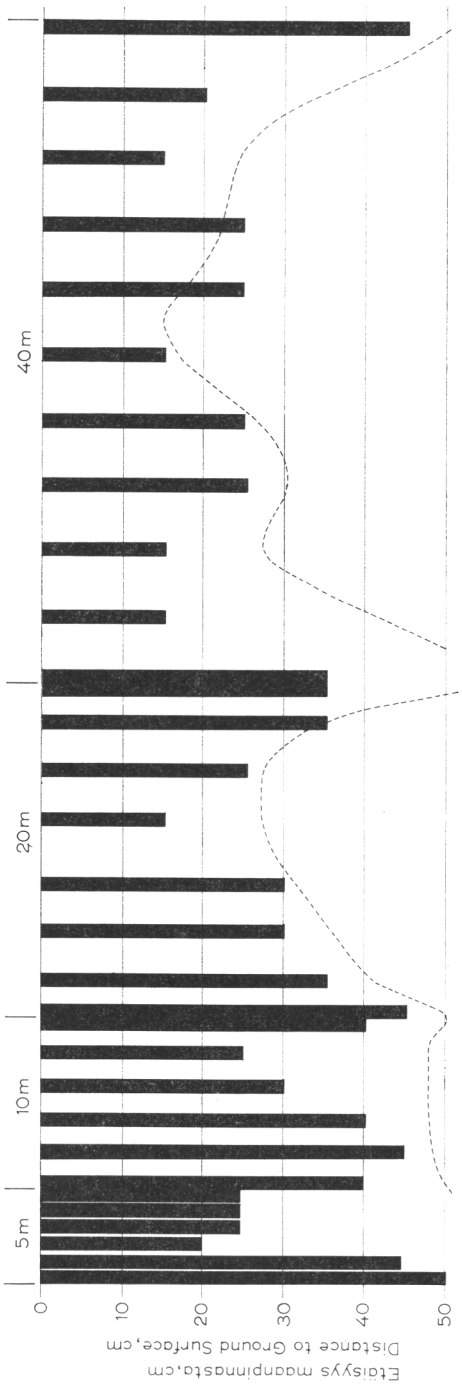
Näyteala *Sample plot*	Pohjaveden korkeus, cm v. 1962 — *Ground water level, cm in 1962*	Juuriston alaraja, cm vuonna — *Lower limit of root system, cm in the year* 1962	1963
VI	18	15	—
V	21	20	20
IV	25	20	15
III	36	25	25
II	44	25	25
I	59	40	40

Kuvasta 12 ilmenee Liesnevan salaojitetun koekentän linjalta C otettujen näytteiden mukaan, kuinka syvällä eläviä männyn juuria oli 5—40 m:n levyisillä saroilla eri etäisyyksillä ojista. Kuvaan on lisäksi merkitty linjaa C lähinnä olevista pohjavesikaivoista mitattu pohjaveden korkeus v. 1962. Todetaan, että aivan ojien vieressä juuret ulottuivat keskimäärin 30—40 cm:n syvyyteen. Eläviä juuria tavattiin yhdessä tapauksessa vielä 45—50 cm:n kerroksessakin. Juuriston syvyysulottuvuus pienenee siirryttäessä keskisaroille päin. Kuvan 12 mukaan pohjaveden korkeuden ja juuriston alarajan välillä vallitsee salaojitetulla koekentällä melko selvä riippuvuussuhde, kuten oli asian laita avo-ojitetullakin koekentällä.

Juuriston keskimääräisen syvyysulottuvuuden ja pohjaveden korkeuden välinen korrelaatio Liesnevan tutkimusalueen näytealoilla esitetään kuvassa 13. Laskelmissa pidettiin pohjaveden korkeutena vuoden 1962 mittausten keskiarvoa. Kuvasta nähdään, että juuriston keskimääräinen syvyysulottuvuus lisääntyy maanpinnan ja pohjavesipinnan välisen etäisyyden kasvaessa. Juuriston syvyys lisääntyy kuitenkin suhteessa pohjavesipinnan samansuuruiseen alentumiseen sitä vähemmän, mitä syvemmälle mennään suon pinnasta.

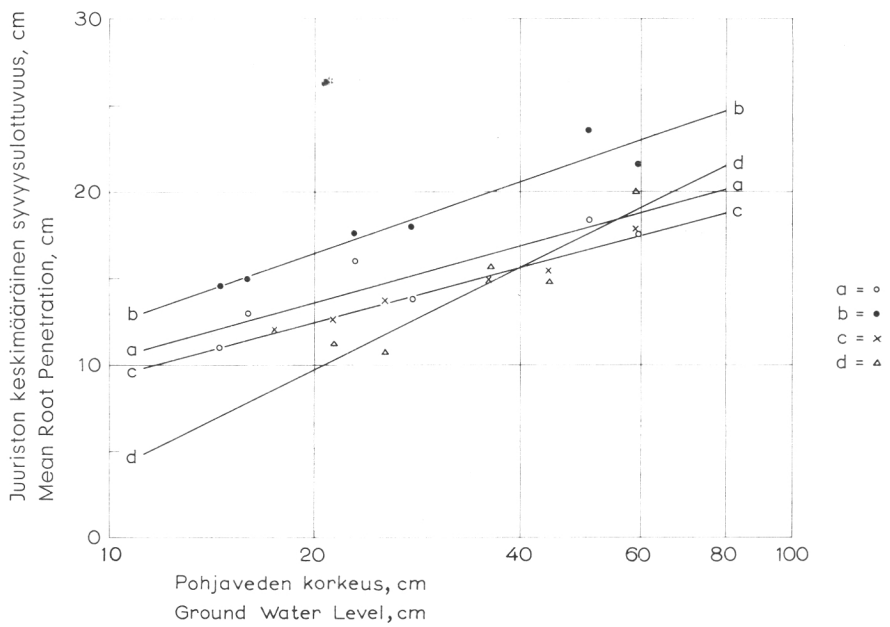
Jaakkoinsuon koekentällä tehdyt tutkimukset osoittavat (taulukko 17), että juuriston keskimääräinen syvyysulottuvuus ja alaraja olivat yli 25 vuoden ajan ojitettuna olleilla näytealoillakin huomattavasti pienemmät kuin kasvukauden keskiarvona laskettu maanpinnan ja pohjavesipinnan välinen etäisyys. Näin siitäkin huolimatta, että pohjavesipinta oli tutkimusvuonna edellä (s. 39) todetun turpeen painumisen ja siitä johtuvan turpeen tiivistymisen ja ojien mataloitumisen vaikutuksesta paljon lähempänä maanpintaa kuin kohta ojituksen jälkeen.

Esitettyjen tulosten mukaan rämemännikön juuriston syvyys lisääntyy kuivatuksen vaikutuksesta, mikä on todettu myös aikaisemmissa tutkimuksissa (Kokkonen 1923, Multamäki 1923, Laitakari 1927, Heikurainen 1955 b).



Kuva 12. Juuriston syvyysulottuvuus Liesnevan salaojitetun koekentän 5—40 m:n levyisillä saroilla eri etäisyyksillä ojista. Kuvaan on merkitty pohjaveden korkeus katkoviivalla.

Figure 12. Depth of root penetration on strips 5 to 40 metres wide, at various distances from the ditches on the covered-ditch experimental field at Liesneva. The ground water level is indicated in the graph by a broken line.



Kuva 13. Juuriston keskimääräisen syvyysulottuvuuden ja pohjaveden korkeuden välistä riippuvuussuhdetta osoittavat regressiosuorat Liesnevan tutkimusalueen näytealoilla. Merkinnät a-d, ks. taulukko 10 (s. 45).

Figure 13. The regression of the mean root penetration on the ground water level in sample plots at Liesneva. For symbols a-d, see Table 10 (p. 45).

a) y = 10.97 log x—0.67 (r = 0.89*), b) y = 13.57 log x—1.12 (r = 0.96**),
c) y = 10.45 log x—1.17 (r = 0.98**), d) y = 19.96 log x—16.28 (r = 0.93*)

Taulukko 17. Juuriston alaraja ja keskimääräinen syvyysulottuvuus Jaakkoinsuon sarkaleveyskoekentän näytealoilla.

Table 17. Lower limit of the root systems and the mean root penetration on Jaakkoinsuo strip-width experimental field.

Näyteala *Sample plot*	Sarkaleveys, m *Strip-width, m*	Pohjaveden korkeus, cm vuonna *Ground water level, cm in the year*		Juuriston alaraja, cm *Lower limit of root system, cm*	Juuriston keskimääräinen syvyysulottuvuus, cm *Mean root penetration, cm*
		1938—1941[1])	1963		
11	40	—	40	25	13.0
15	30	—	46	25	15.0
14	25	—	40	20	13.8
12	22	82	52	20	13.4
13	15	102	50	25	17.6

[1]) Lukkalan (1951, s. 21) mukaan — *According to Lukkala (1951, p. 21).*

Juuriston syveneminen näyttää olevan selvässä vuorosuhteessa kuivatuksen tehokkuuden kanssa. Juuriston alaraja on sitä syvemmällä, mitä suurempi on pohjaveden etäisyys maanpinnasta. Erityisesti ojien lähellä saattavat yksittäiset juuret seurata pohjavesipintaa varsin syvällekin turpeeseen. Tämä tulos on todennäköisesti näytealojen laadun vuoksi erilainen, kuin mihin Heikurainen (1955 b) on päätynyt. Heikurainen (m.t., s. 37, 41) esittää, että juuriston alaraja on tehokkaasti kuivatulla suolla tuskin 10 cm:ä syvemmällä kuin ojittamattomalla suolla. Kokkosen (1923) tutkimuksessa on sen sijaan tultu samansuuntaiseen tulokseen, kuin mikä on saatu Liesnevan sarkaleveyskoekentältä. Kokkonen (m.t., s. 19) toteaa, että juurten vallassa oleva maakerros seuraa pohjavesitasoa. Ojien vieressä on juuriston syvyysulottuvuus ollut hänen tulostensa mukaan 45—50 cm, eräässä tapauksessa jopa 76 cm. Juuristo on 10 m:n päässä ojista harvoin ulottunut 30 cm:ä syvemmälle ja 60—100 m:n päässä 20 cm:ä syvemmälle. Multamäen (1923) tutkimusten mukaan juurten kärkiosat ovat olleet ojitetulla suolla pääasiassa 15—20 cm:n syvyydessä, mutta niitä on todettu olevan myös 30—40 cm:n syvyydessä.

Vaikka yksittäisiä juuria voi ojien lähettyvillä esiintyä melko syvälläkin turpeessa, vaikuttaa kuivatuksen tehokkuuden kasvu Liesnevan alueella suoritettujen tutkimusten mukaan suhteellisen vähän juuriston keskimääräiseen syvyysulottuvuuteen. Saatujen tulosten nojalla on pääteltävissä, että voimakkain juuriston syvyyden lisäys saavutetaan turpeen pintaosissa olevan veden poistolla ja että pohjavesipinnan alentaminen alunperin juurten vallassa olevaa maakerrosta tuntuvasti syvemmälle ei aiheuta juuriston syvyyden vastaavaa lisääntymistä. Rämemännikön juuristo pystyy pitkänkin ajan kuluessa käyttämään hyväksi vain osan maanpinnan ja pohjavesipinnan välisestä potentiaalisesta kasvutilasta, kuten Jaakkoinsuolla tehdyt tutkimukset osoittavat. Tehokkaasta kuivatuksesta huolimatta enin osa juurista on 0—10 cm:n syvyydessä. Myös Heikuraisen (1955 b) mukaan juuristo kokonaisuudessaan syvenee varsin vähän, sillä hänen tutkimissaan tapauksissa juurten määrällä punnitun keskisyvyyden kasvu on ollut yleensä pienempi kuin 1 cm. Heikurainen (m.t., ss. 32—38) toteaa, että hyvinkin kuivuneella suolla rämemännikön juuristo on ollut erittäin pinnallinen. Valtaosa juurista on ollut 10 cm paksussa pintakerroksessa.

Tarkasteltaessa juuriston syvyyden kasvun riippuvuutta vesitalouden järjestelystä kuluneesta ajasta havaitaan, että Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentillä kuivatus ei ole selvästi vaikuttanut juuriston syvyysjakaantumiseen kolmen kasvukauden aikana. Runsaan neljän vuoden kuluttua todettiin juuriston syvyyden lisääntyneen ja juuriston alarajan syvenemisen olleen suurimman näytealalla, jossa kuivatus on ollut tehokkain. Merkille pantavaa tuloksissa on, että juuriston syvyys on lisääntynyt myös näytealalla, jossa pohjaveden etäisyys maanpinnasta on ollut keskimäärin vain 12 cm. Tutkimus-

alueella vallitsevissa koeolosuhteissa on osa rämemännikön juuristosta näin ollen pysynyt elossa yli neljän vuoden ajan pohjavesipinnan alapuolella, ja juuret ovat jopa kasvaneet lisää pituutta. Myös aikaisemmissa tutkimuksissa (mm. Mc Quilkin 1935, Ijjasz 1938, Heikurainen 1955 b) on esitetty, että havupuiden juuria on ollut pohjavesipinnan alapuolella.

Selvä juuriston syveneminen havaittiin Liesnevan tutkimusalueella, jossa kuivatuksesta on kulunut aikaa lähes 10 vuotta. Ojituksen iän kasvaessa yli 20 vuoden juuriston syvyydessä ei enää näytä tapahtuvan mainittavia muutoksia, sillä Jaakkoinsuon vanhalla ojitusalueella juuriston syvyysjakaantuminen oli lähes samanlainen kuin Liesnevalla.

Rovaniemen Mortin alueelta saatujen tulosten mukaan kuivatus lisää rämemännikön juuriston syvyyttä myös Pohjois-Suomen olosuhteissa. Juuriston syvyyden kasvu on ollut Pohjois-Suomessakin sitä voimakkaampaa, mitä tehokkaampaa ojitusta on käytetty.

Juuriston syvyysjakaantumisessa todettiin olennainen ero Etelä- ja Pohjois-Suomessa sijainneiden tutkimusalueiden välillä. Niinpä juuriston keskimääräinen syvyysulottuvuus vaihteli Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekenttien näytealoilla Etelä-Suomessa 9. 6—17. 6 cm:n välillä, kun taas kaikilla Sattasuon ojasyvyyskoekentän näytealoilla Pohjois-Suomessa juuriston keskimääräinen syvyysulottuvuus oli pienempi kuin 8 cm. Samantapainen ero juuriston syvyysjakaantumisessa oli myös Parkanon Liesnevan ja Rovaniemen Mortin koekenttien välillä. Näiden tulosten mukaan rämemännikön juuristo on Pohjois-Suomessa pinnallisempi kuin Etelä-Suomessa. Vastaavanlainen tulos siitä, että puiden juuristo käy pinnallisemmaksi etelästä pohjoiseen päin siirryttäessä on saatu mm. Ruotsissa kivennäismailla suoritettujen tutkimusten perusteella (Hesselman 1910 a).

43. Juurten paksuusjakaantuminen

Juurten kokonaismäärän prosentuaalinen jakaantuminen eri paksuusluokkiin Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekentillä nähdään taulukosta 18. Tutkimustulosten mukaan maan vesitalouden järjestely ei ole vaikuttanut juurten paksuusjakaantumiseen Jaakkoinsuon ja Sattasuon koekentillä vuoteen 1963 mennessä. Jaakkoinsuon koekentän A näytealoilla oli juurten paksuusjakaantumisessa v. 1963 tosin eroja vesitalouden järjestelyä edeltäneeseen jakaantumaan verrattuna, mutta nämä erot ovat verraten pieniä, eivätkä ne myöskään korreloi kuivatuksen tehokkuuden kanssa. Jaakkoinsuon koekentän B näytealoilla oli juurten jakaantuminen eri paksuusluokkiin v. 1963 lähes samanlainen. Myöskään Sattasuon näytealoilla ei ollut ko. vuonna vuorosuhdetta juurten paksuusjakaantumisen ja erilaisella tehokkuudella suoritetun kuivatuksen välillä. Sattasuolla ohuita juuria oli runsaimmin

Taulukko 18. Juurten jakaantuminen eri paksuusluokkiin Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekenttien näytealoilla.

Table 18. Distribution of roots into diameter classes on Jaakkoinsuo and Sattasuo ditch-depth experimental fields.

Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys, cm *Regulated water level in the ditches, cm*	Pohjaveden korkeus, cm v. 1963 *Ground water level, cm in 1963*	Juuria, % juurten kokonaispituudesta eri paksuusluokissa. *Roots, per cent of total length of roots in different diameter classes*		
		<1 mm	1—2 mm	>2 mm
Jaakkoinsuon koekenttä A v. 1963 — *Experimental field A at Jaakkoinsuo in 1963*				
10	13	92.1	7.5	0.5
30	38	85.0	9.3	5.8
50	46	82.7	14.2	3.1
70	58	86.8	9.8	3.4
N[1])	—	87.7	10.4	1.9
Jaakkoinsuon koekenttä B v. 1963 — *Experimental field B at Jaakkoinsuo in 1963*				
10	12	88.0	9.0	3.1
30	46	87.6	3.9	3.5
50	58	85.9	9.8	4.3
70	64	85.8	10.5	3.8
Jaakkoinsuon koekenttä B v. 1965 — *Experimental field B at Jaakkoinsuo in 1965*				
10	12	65.9	22.6	11.5
30	46	79.4	15.5	5.1
50	58	85.4	12.7	2.0
70	64	73.7	20.4	5.9
Sattasuon koekenttä v. 1963 — *Experimental field at Sattasuo in 1963*				
10	12	72.4	17.6	10.0
30	30	80.2	14.5	5.3
50	41	80.2	15.8	4.0
70	54	71.4	20.1	8.6

[1]) N = Juurten paksuusjakaantuminen ennen vesitalouden järjestelyä — *Distribution of roots into diameter classes, prior to water regulation.*

näytealoilla, joita ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10 cm ja 70 cm.

Jaakkoinsuon koekentällä B suoritetut tutkimukset osoittavat juurten paksuusjakaantumisen muuttuneen tällä koekentällä vuodesta 1963 vuoteen 1965 mennessä siten, että ohuiden juurien suhteellinen osuus kokonaisjuurimäärästä on vähentynyt (näytealoilla, joita ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10, 30 ja 70 cm). Tämä juurten paksuusjakaantumisen muuttuminen ei kuitenkaan johtune kuivatuksesta, koska sanottu muuttuminen todettiin myös näytealalla (säännöstelysyvyys 10 cm), jossa vesitalouden järjestely ei ole alentanut pohjaveden korkeutta. Sen sijaan juuriston rakenteen vuotuinen vaihtelu, joka kohdistuu pääasiassa alle 1 mm:n vah-

vuisiin juuriin (Kalela 1955, ss. 10—12, Heikurainen 1955 a, ss. 23—26), voi olla syynä juurten paksuusjakaantumisessa todettuihin muutoksiin. Tarkastelun kohteena olevilla näytealoillahan juurten määrä on vähentynyt vuosien 1963 ja 1965 välisenä aikana (vrt. s. 43). Kun tämä väheneminen on todennäköisesti tapahtunut lähes kokonaan alle 1 mm:n vahvuisten juurten määrässä, on siitä seurauksena, että ko. paksuusluokkaan kuuluvien juurien osuus kokonaisjuurimäärästä on pienentynyt.

Parkanon Liesnevan, Vilppulan Jaakkoinsuon ja Rovaniemen Mortin sarkaleveyskoekentiltä saadut tulokset ilmenevät taulukosta 19. Liesnevan tutkimusalueella ei juurten paksuusjakaantumisessa ollut mainittavaa eroa erilevyisillä saroilla sijainneiden näytealojen välillä. Salaojitetulla koekentällä suoritettujen tutkimusten mukaan (näytealat 6—10 ja linjat A-B) oli kyllä yli 1 mm:n vahvuisten juurien osuus kokonaisjuurimäärästä 5 m:n saralla suurempi kuin sitä leveämmillä saroilla, mutta tätä tulosta eivät tue avo-ojitetulta koekentältä saadut tulokset (näytealat I—VI). Myöskään Jaakkoinsuon vanhalla ojitusalueella ei ollut selvää riippuvuussuhdetta juurten paksuusjakaantumisen ja erilaisella tehokkuudella suoritetun kuivatuksen välillä. Vastaava tulos on saatu Mortin tutkimusalueelta.

Eri koekentillä tehdyt tutkimukset osoittavat, että ohuiden juurten osuus on hyvin suuri rämemännikön juuristossa. Valtaosa juurista on alle 1 mm:n vahvuisia, ja 2 mm:ä paksumpia juuria on yleensä vähemmän kuin 10 % juurten kokonaismäärästä. Tulos on yhdenmukainen Heikuraisen (1955 b) tutkimusten kanssa.

Heikuraisen (1955 b, ss. 43—45) mukaan ojittamattoman rämeen vanhan puuston juuristo toimii pääasiassa ohuiden juurien varassa, ja paksujen juurien suhteellinen osuus lisääntyy ojituksen vaikutuksesta. Tätä kuivatuksesta johtuvaa paksujen juurten suhteellisen osuuden kasvua ei todettu Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekentillä, mikä onkin luonnollista, kun otetaan huomioon koekenttien vesitalouden järjestelystä kulunut lyhyt aika. Liesnevalla on sanotun kasvun ehkä voinut osaksi peittää uusien ja vielä ohuiden juurien muodostus, sillä kuten seuraavasta asetelmasta havaitaan, suurin osa ojituksen jälkeen syntyneistä juurista on voinut olla näytteenottoaikana yhä alle 1 mm:n vahvuisia. Asetelman luvut osoittavat näytealojen 5 ja 6 välissä sijaitsevan salaojan päältä otetuissa näytteissä olleiden juurten jakaantumisen eri paksuusluokkiin.

	Paksuusluokka, mm		
	< 1	1—2	> 2
Juuria, % kokonaisjuurimäärästä	92.4	6.5	1.1

Tuloksista ilmenee kuitenkin, ettei kuivatuksen vaikutusta juurten paksuusjakaantumiseen havaittu Jaakkoinsuon vanhallakaan ojitusalueella. Ohuiden juurien osuus juurten kokonaismäärästä oli hyvin suuri vielä siinä-

Taulukko 19. Juurten jakaantuminen eri paksuusluokkiin Liesnevan, Jaakkoinsuon ja Mortin sarkaleveyskoekenttien näytealoilla.

Table 19. Distribution of roots into diameter classes on strip-width experimental fields at Liesneva, Jaakkoinsuo and Mortti.

Sarkaleveys, m *Strip-width, m*	Juuria, % juurten kokonaispituudesta eri paksuusluokissa *Roots, per cent of total length of roots in different diameter classes*		
	< 1 mm	1—2 mm	> 2 mm
Liesnevan näytealat I—VI v. 1962 — *Sample plots I—VI at Liesneva in 1962*			
80	87.9	9.8	2.3
60	95.6	3.0	1.4
40	88.9	7.7	3.4
20	90.7	6.7	2.7
10	91.6	5.4	3.0
5	88.6	8.8	2.7
Liesnevan näytealat I—V ja VII v. 1963 — *Sample plots I—V and VII at Liesneva in 1963*			
LT[1])	84.9	11.5	3.6
60	83.9	12.2	3.9
40	83.8	12.3	3.9
20	90.9	7.3	1.8
10	85.0	11.5	3.5
5	87.5	11.1	1.3
Liesnevan näytealat 6—10 — *Sample plots 6—10 at Liesneva*			
80	83.0	14.2	2.8
60	88.0	8.4	3.6
40	93.5	4.8	1.6
20	84.7	11.0	4.2
10	90.2	6.7	3.1
5	82.0	15.3	2.8
Liesnevan linjat A-B — *Lines A-B at Liesneva*			
80	87.9	9.9	2.3
60	88.0	8.9	3.1
40	89.4	8.9	1.7
20	86.2	9.5	4.3
10	86.4	9.8	3.7
5	79.3	16.4	4.4
Jaakkoinsuon näytealat — *Sample plots at Jaakkoinsuo*			
40	89.3	8.2	2.5
30	87.7	10.4	1.9
25	88.2	8.6	3.2
22	86.2	9.9	3.9
15	85.1	11.6	3.4
Mortin näytealat — *Sample plots at Mortti*			
80	77.7	15.0	7.3
50	83.5	10.6	6.0
20	73.9	16.2	9.9
10	82.0	11.7	6.2

[1]) LT = Ojittamaton tupasvillaräme — *Undrained cottongrass (Eriophorum vaginatum) pine swamp.*

kin tapauksessa, että vesitalouden järjestelystä on kulunut aikaa yli 25 vuotta ja että sarkaleveys on ollut esim. 15 m. Myöskään Mortin tutkimusalueella ei todettu riippuvuussuhdetta juurten paksuusjakaantumisen ja kuivatuksen tehokkuuden välillä.

Edellä esitetyn perusteella on ilmeistä, ettei kuivatuksen tehokkuudella ole sanottavaa vaikutusta pitkäjuurten paksuusjakaantumiseen rämemännikön juuristossa.

Verrattaessa keskenään Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekentiltä sekä Liesnevan ja Mortin sarkaleveyskoekentiltä saatuja tuloksia todetaan, että alle 1 mm:n vahvuisten juurten osuus kokonaisjuurimäärästä on ollut Pohjois-Suomessa sijainneilla tutkimusalueilla keskimäärin vähän pienempi kuin Etelä-Suomen tutkimusalueilla.

44. Lyhytjuurten kokonaismäärä

Tarkasteltaessa lyhytjuurten määrää koskevia tuloksia Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentillä (taulukko 20) todetaan, ettei neliömetriä kohden lasketuissa lyhytjuurten kokonaismäärissä ollut v. 1963 merkitsevää eroa koeken-

Taulukko 20. Lyhytjuurten kokonaismäärä ja tiheys Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekenttien näytealoilla.

Table 20. Total number and density of short roots on Jaakkoinsuo and Sattasuo ditch-depth experimental fields.

Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys, cm *Regulated water level in the ditches, cm*	Pohjaveden korkeus, cm v. 1963 *Ground water level, cm in 1963*	Lyhytjuuria, 1 000 kpl/m² vuonna *Thousands of short roots per sq.m in the year*		Lyhytjuuria, kpl/juuri-dm vuonna *Number of short roots per dm of long roots in the year*	
		1963	1965	1963	1965
Jaakkoinsuon koekenttä A — *Experimental field A at Jaakkoinsuo*					
10	13	54.3	—	16.2	—
30	38	67.6	—	15.7	—
50	46	55.0	—	10.4	—
70	58	67.1	—	13.4	—
Jaakkoinsuon koekenttä B — *Experimental field B at Jaakkoinsuo*					
10	12	100.6	39.0	21.6	13.7
30	46	85.2	41.1	18.6	11.9
50	58	66.8	75.4	14.7	16.0
70	64	98.6	81.4	15.3	17.1
Sattasuon koekenttä — *Experimental field at Sattasuo*					
10	12	28.9	—	18.8	—
30	30	28.6	—	12.1	—
50	41	28.4	—	14.6	—
70	54	10.5	—	11.1	—

tän A eikä myöskään koekentän B näytealoilla. Lyhytjuurten tiheys (kpl/juuri-dm) oli kummallakin koekentällä suurin näytealoilla, joita ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10 cm ja 30 cm.

Jaakkoinsuon koekentällä B on lyhytjuurten määrässä tapahtunut muutoksia vuodesta 1963 vuoteen 1965 mennessä siten, että lyhytjuurten kokonaismäärä on vähentynyt näytealoilla, joissa ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10 cm ja 30 cm. Tämä kehitys ilmenee sekä lyhytjuurten maapinta-alaa kohden lasketussa määrässä että lyhytjuurten tiheydessä.

Sattasuolla lyhytjuurten kokonaismäärä oli v. 1963 taulukon 20 mukaan miltei samanlainen niillä näytealoilla, joita ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10—50 cm. Sen sijaan näytealoilla, joissa säännöstelysyvyys on 70 cm, lyhytjuuria oli huomattavasti vähemmän, eron ollessa muihin näytealoihin nähden tilastollisesti merkitsevä. Tämän syynä on pääasiassa, että myös pitkäjuurten kokonaismäärä oli varsin pieni ko. näytealoilla, kuten edellä s. 44 on esitetty. Suurin tiheysluku saatiin näytealoilta, joissa ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10 cm.

Aikaisemmin (s. 48) on todettu, että Liesnevan tutkimusalueella pitkäjuuria oli 20—40 m:n levyisillä saroilla enemmän kuin 60—80 m:n levyisillä saroilla ja että 5 m:n ja 10 m:n saroilla pitkäjuurten kokonaismäärä oli yleensä pienempi kuin 20 m:n saroilla. Vastaavat erot erilevyisten sarkojen välillä havaitaan myös neliömetriä kohden lasketuissa lyhytjuurten kokonaismäärissä (taulukko 21). Koealojen 1—4 ja 7—10 aineistosta suoritettu varianssianalyysi osoitti, että samoin kuin pitkäjuurten määrä myös lyhytjuurten määrä kasvaa sarkaleveyden pienentyessä 80 m:stä 20 m:in. Luotettavuus oli 95 % ($F = 2.83^*$).

Taulukosta 21 ilmenee myös, että vaikka maan pinta-alayksikköä kohden laskettu lyhytjuurten määrä on lisääntynyt sarkaleveyden pienentyessä 80 m:stä 20 m:in, lyhytjuurten tiheys ei ole selvästi kasvanut. Lyhytjuurten tiheys oli useilla 5 m:n ja 10 m:n saroilla sijainneilla näytealoilla vieläkin pienempi kuin 20 m:n saralla.

Jaakkoinsuon tutkimusalueen näytealoilla 11—15 lyhytjuurten kokonaismäärä oli näytealaa 13 lukuunottamatta samaa suuruusluokkaa (taulukko 22). Näytealalla 13 (sarkaleveys 15 m), jossa kuivatus on tuntuvasti lisännyt pitkäjuurten kokonaismäärää, oli lyhytjuuria runsaammin kuin muilla näytealoilla.

Esitettyjen tulosten mukaan lyhytjuurten kokonaismäärä on kasvanut kuivatuksen vaikutuksesta, niinkuin aikaisemmissakin tutkimuksissa (Björkman 1942, Heikurainen 1955 b) on todettu tapahtuvan. Lyhytjuurten kokonaismäärän kasvu on johtunut ensi sijassa pitkäjuurten kokonaispituuden lisääntymisestä. Lyhytjuurten tiheyttä koskevat tulokset ovat niin ristiriitaisia, ettei niiden perusteella voida varmasti todeta, vaikuttaako kuivatus myös lyhytjuurten lukumäärään pitkäjuurten pituusyk-

Taulukko 21. Lyhytjuurten kokonaismäärä ja tiheys Liesnevan tutkimusalueen näytealoilla.

Table 21. Total number and density of short roots in sample plots at Liesneva.

Näytesarja[1]) *Sample series[1])*	Sarkaleveys, m — *Strip-width, m*													
	LT[2])	80	60	40	20	10	5	LT	80	60	40	20	10	5
	Lyhytjuuria, 1 000 kpl/m² *Thousands of short roots per sq.m*							Lyhytjuuria, kpl/juuri-dm *Number of short roots per dm of long roots*						
a	—	47.0	62.6	48.1	30.6	55.7	16.3	—	14.6	14.9	10.9	7.4	8.0	4.6
b	—	25.5	23.9	47.2	29.6	40.8	21.0	—	6.3	5.6	7.8	5.1	8.8	6.8
c	—	30.0	27.6	27.5	37.6	20.3	39.4	—	11.2	9.5	7.7	8.1	6.2	6.6
d	54.0	—	55.8	74.4	137.0	115.2	68.1	15.2	—	18.2	14.8	14.7	16.6	11.4
e	—	19.4	38.4	52.4	37.7	—	—	—	7.1	6.1	8.5	6.2	—	—

[1]) Näytesarjojen a-e merkinnät ovat samat kuin taulukossa 10 (s. 45) — *The symbols for sample series a-e are the same as those used in Table 10 (p. 45).*

[2]) LT = Ojittamaton tupasvillaräme — *Undrained cottongrass (Eriophorum vaginatum) pine swamp.*

sikköä kohden. Esimerkiksi Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentällä B v. 1965 suoritettujen tutkimusten mukaan lyhytjuurten tiheys on ollut suurin näytealoilla, joissa kuivatus on ollut tehokkain, mutta Liesnevan sarkaleveyskoekentällä on tultu päinvastaiseen tulokseen. Myös H e i k u r a i n e n (1955 b, s. 53) toteaa, ettei lyhytjuurten tiheyslukujen vertailu kuivatukseltaan erilaisten näytealojen välillä ole antanut selvää tulosta.

Koska lyhytjuurten kokonaismäärän muutokset korreloivat pitkäjuurten määrän muutosten kanssa, voidaan lyhytjuurten kokonaismäärän kehityksen ja kuivatuksen tehokkuuden välisestä riippuvuussuhteesta tehdä samat päätelmät kuin edellä s. 48 pitkäjuurten määrän kehityksestä. Samoin on asian laita lyhytjuurten kokonaismäärän ja vesitalouden järjestelystä kuluneen ajan väliseen riippuvuussuhteeseen nähden.

Taulukko 22. Lyhytjuurten kokonaismäärä ja tiheys Jaakkoinsuon sarkaleveyskoekentän näytealoilla.

Table 22. Total number and density of short roots on Jaakkoinsuo strip-width experimental field.

Näyteala *Sample plot*	Sarkaleveys, m *Strip-width, m*	Pohjaveden korkeus, cm v. 1963 *Ground water level, cm in 1963*	Lyhytjuuria, 1 000 kpl/m² *Thousands of short roots per sq.m*	Lyhytjuuria, kpl/juuri-dm *Number of short roots per dm of long roots*
11	40	40	76.4	12.1
15	30	46	98.8	12.3
14	25	40	59.8	8.6
12	22	52	75.4	10.6
13	15	50	165.8	12.3

Pitkäjuurten pienemmän määrän vuoksi on lyhytjuuria ollut Sattasuon ojasyvyyskoekentällä Pohjois-Suomessa tuntuvasti vähemmän maan pinta-alayksikköä kohden kuin Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentällä Etelä-Suomessa. Lyhytjuurten tiheys on sen sijaan ollut samaa suuruusluokkaa kummallakin tutkimusalueella, joten tämän mukaan lyhytjuuria muodostuu pitkäjuurten pituusyksikköä kohden suunnilleen yhtä runsaasti molemmilla ilmastoalueilla.

Lyhytjuurten tiheysluvut ovat tässä tutkimuksessa jonkin verran pienemmät, kuin mitä kirjallisuudessa on yleensä esitetty (vrt. Björkman 1942, Siréen ja Bergman 1951, Heikurainen 1955 b, Mikola ja Laiho 1962). Tiheyslukujen pienuus johtunee osaksi siitä, että lyhytjuuria on irronnut näytteiden vesihuuhtelussa ja jäänyt siten laskematta.

45. Lyhytjuurten syvyysjakaantuminen

Pitkäjuurten syvyysjakaantumista koskevissa tutkimuksissa ilmeni, että Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekenttien kaikilla näytealoilla yli puolet juurista oli 0—5 cm:n syvyydessä ja että juurten määrä väheni selvästi suon pinta-osista syvemmälle mentäessä. Lyhytjuurten määrä väheni näillä näytealoilla vieläkin jyrkemmin kuin pitkäjuurten määrä siirryttäessä pinta-turvetta syvemmälle (taulukko 23). Myös lyhytjuurten tiheys oli 0—5 cm:n kerroksessa suurempi kuin sitä syvemmällä (taulukko 24). Edelleen todetaan sekä lyhytjuurten maapinta-alaa kohden lasketusta määrästä että niiden tiheydestä eri syvyyksissä saatujen tulosten perusteella, ettei kuivatuksen tehokkuuden ja lyhytjuurten syvyysjakaantumisen välillä ollut selvää riippuvuussuhdetta Jaakkoinsuolla. Aikaisemmin s. 64 mainittu lyhytjuurten tiheyden pieneneminen koekentällä B vuosien 1963 ja 1965 välisenä aikana (näytealoilla, joita ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10 cm ja 30 cm) on taulukon 24 mukaan johtunut kaikissa tutkituissa syvyyskerroksissa tapahtuneista muutoksista. Lyhytjuurten tiheyden pieneneminen on kuitenkin ollut 5 cm:ä syvemmällä suhteellisesti voimakkaampaa kuin 0—5 cm:n syvyydessä.

Taulukoista 23 ja 24 nähdään lyhytjuurten syvyysjakaantuminen myös Sattasuon ojasyvyyskoekentällä. Tällä koekentällä yli 90 % lyhytjuurista oli 0—5 cm:n syvyydessä. Lyhytjuuria oli 10 cm:ä syvemmällä vain näytealoilla, joita ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 30 cm. Myöskään Sattasuolla ei ilmennyt riippuvuussuhdetta lyhytjuurten syvyysjakaantumisen ja erilaisella tehokkuudella suoritetun kuivatuksen välillä.

Liesnevan tutkimusalueella suurin osa pitkäjuurista oli 0—10 cm:n syvyydessä, ja 20 cm:ä syvemmällä juuria oli mainittavasti vain 5 m:n ja 10 m:n saroilla. Vastaava tulos saatiin myös lyhytjuurten syvyysjakaantumisesta,

Taulukko 23. Lyhytjuurten määrä eri syvyyskerroksissa Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekenttien näytealoilla.

Table 23. Number of short roots in different depth layers on Jaakkoinsuo and Sattasuo ditch-depth experimental fields.

Syvyyskerros, cm *Depth layer, cm*	Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys, cm *Regulated water level in the ditches, cm*							
	10	30	50	70	10	30	50	70
	Lyhytjuuria, 1 000 kpl/m² *Thousands of short roots per sq.m*				% lyhytjuurten kokonaislukumäärästä *Per cent of total number of short roots*			
Jaakkoinsuon koekenttä A v. 1963 — *Experimental field A at Jaakkoinsuo in 1963*								
0—5	51.6	65.4	47.5	56.0	95.0	96.7	86.4	83.5
5—10	2.0	1.9	4.5	7.7	3.7	2.8	8.2	11.5
10—15	0.7	0.3	2.3	3.0	1.3	0.4	4.2	4.5
15—20	—	—	0.7	0.4	—	—	1.3	0.6
Yhteensä — *Total*	54.3	67.6	55.0	67.1	100	100	100	100
Jaakkoinsuon koekenttä B v. 1963 — *Experimental field B at Jaakkoinsuo in 1963*								
0—5	83.5	73.1	57.7	91.3	83.0	85.8	86.4	92.6
5—10	14.6	11.3	7.0	6.3	14.5	13.3	10.5	6.4
10—15	1.4	0.8	2.1	1.0	1.4	0.9	3.1	1.0
15—20	1.1	—	△	—	1.1	—	△	—
Yhteensä — *Total*	100.6	85.2	66.8	98.6	100	100	100	100
Jaakkoinsuon koekenttä B v. 1965 — *Experimental field B at Jaakkoinsuo in 1965*								
0—5	32.0	34.5	60.8	76.8	82.1	83.9	80.6	94.3
5—10	6.0	5.5	14.1	4.2	15.4	13.4	18.7	5.2
10—15	0.6	0.8	0.3	0.3	1.5	1.9	0.4	0.4
15—20	0.3	0.1	0.1	0.1	0.8	0.2	0.1	0.1
20—25	0.1	0.2	0.1	—	0.3	0.5	0.1	—
Yhteensä — *Total*	39.0	41.1	75.4	81.4	100	100	100	100
Sattasuon koekenttä v. 1963 — *Experimental field at Sattasuo in 1963*								
0—5	26.3	27.1	27.3	10.0	91.0	94.8	96.1	95.2
5—10	2.6	1.1	1.1	0.5	9.0	3.8	3.9	4.8
10—15	—	0.3	—	—	—	1.0	—	—
15—20	—	0.1	—	—	—	0.3	—	—
Yhteensä — *Total*	28.9	28.6	28.4	10.5	100	100	100	100

joskin lyhytjuurten määrä väheni vielä selvemmin kuin pitkäjuurten määrä suon pintaosia syvemmälle mentäessä (taulukko 25). Useimmilla näytealoilla 3/4 kaikista lyhytjuurista oli jo 0—5 cm:n syvyydessä.

Taulukon 25 mukaan lyhytjuurten esiintymissyvyys on kasvanut Liesnevalla ojituksen vaikutuksesta ja sitä enemmän, mitä tehokkaampi kuivatus on ollut. Tämä on johtunut pääasiassa pitkäjuurten syvyyden kasvusta, sillä lyhytjuurten tiheys ei ole sanottavasti lisääntynyt suon pintaosia syvemmällä (taulukko 26). Avo-ojitetulla koekentällä v. 1963 suoritettujen tutkimusten mukaan (näytealat I—V) lyhytjuurten tiheys oli kyllä 10—20 cm:n

Taulukko 24. Lyhytjuurten tiheys eri syvyyskerroksissa Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekenttien näytealoilla.

Table 24. Density of short roots in different depth layers on Jaakkoinsuo and Sattasuo ditch-depth experimental fields.

Syvyyskerros, cm *Depth layer, cm*	Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys, cm *Regulated water level in the ditches, cm*			
	10	30	50	70
	Lyhytjuuria, kpl/juuri-dm — *Number of short roots per dm of long roots*			
Jaakkoinsuon koekenttä A v. 1963 — *Experimental field A at Jaakkoinsuo in 1963*				
0—5	16.9	15.9	10.7	14.9
5—10	8.3	10.7	8.1	8.6
10—20	11.4	10.0	11.1	9.9
Jaakkoinsuon koekenttä B v. 1963 — *Experimental field B at Jaakkoinsuo in 1963*				
0—5	25.9	19.1	15.2	15.9
5—10	12.6	17.4	11.8	9.7
10—20	9.3	6.7	12.3	14.1
Jaakkoinsuon koekenttä B v. 1965 — *Experimental field B at Jaakkoinsuo in 1965*				
0—5	19.8	13.7	16.8	18.9
5—10	6.8	7.6	14.1	7.3
10—20	2.8	4.9	4.6	3.9
Sattasuon koekenttä v. 1963 — *Experimental field at Sattasuo in 1963*				
0—5	20.0	12.4	14.7	11.5
5—10	11.9	8.4	12.2	6.4

syvyydessä 5—20 m:n saroilla suurempi kuin niitä leveämmillä saroilla, mutta muut tutkimukset eivät johtaneet samanlaiseen tulokseen.

Lyhytjuurten syvyysjakaantuminen Jaakkoinsuon sarkaleveyskoekentällä selviää taulukoista 27 ja 28. Tulokset osoittavat, että lyhytjuurten pinnallinen esiintyminen on ominaista jopa 40 vuoden ajan ojitettuna olleen rämemännikön juuristolle (sarkaleveys 40 m). Kaikilla näytealoilla oli 3/4 lyhytjuurista jo 0—5 cm:n syvyydessä. Eri maakerroksista saaduissa lyhytjuurten tiheysluvuissa ei ollut selviä, kuivatuksen tehokkuuden tai ojituksen iän kanssa korreloivia eroja (taulukko 28).

Lyhytjuurten syvyysjakaantumista koskevat tulokset ovat yhdenmukaisia Heikuraisen (1955 b) tutkimusten kanssa. Heikurainen (m.t.) on osoittanut, että rämemänniköissä lyhytjuurten esiintyminen on hyvin pinnallista ja huomattavasti pinnallisempaa kuin pitkäjuurien. Kuivatus ei ole hänen mukaansa vaikuttanut selvästi lyhytjuurten tiheyteen pintaturvetta syvemmällä. Pitkäjuurten keskisyvyyden lisääntymisestä on kuitenkin ollut seurauksena, että myös lyhytjuurten keskisyvyys on lisään-

Taulukko 25. Lyhytjuurten määrä eri syvyyskerroksissa Liesnevan tutkimusalueen näytealoilla.

Table 25. Number of short roots in different depth layers in sample plots at Liesneva.

Syvyyskerros, cm *Depth layer, cm*	Sarkaleveys, m — *Strip-width, m*													
	LT[1])	80	60	40	20	10	5	LT	80	60	40	20	10	5
	Lyhytjuuria, 1 000 kpl/m² *Thousands of short roots per sq.m*							% lyhytjuurten kokonaislukumäärästä *Per cent of total number of short roots*						
Näytealat I—VI v. 1962 — *Sample plots I—VI in 1962*														
0—5 ..	—	21.1	23.7	23.0	28.6	15.2	21.2	—	70.3	85.9	83.6	76.1	74.9	53.8
5—10 ..	—	8.4	3.7	3.5	7.2	3.9	9.2	—	28.0	13.4	12.7	19.1	19.2	23.4
10—15 ..	—	0.5	0.1	0.9	1.7	0.8	3.2	—	1.7	0.4	3.3	4.5	3.9	8.1
15—20 ..	—	—	0.1	0.1	0.1	0.3	2.3	—	—	0.4	0.4	0.3	1.5	5.8
20—25 ..	—	—	—	—	△	0.1	2.3	—	—	—	—	0.1	0.5	5.8
25—30 ..	—	—	—	—	—	—	1.0	—	—	—	—	—	—	2.5
30—35 ..	—	—	—	—	—	—	0.2	—	—	—	—	—	—	0.5
35—40 ..	—	—	—	—	—	—	△	—	—	—	—	—	—	0.1
Yhteensä *Total*	—	30.0	27.6	27.5	37.6	20.3	39.4	—	100	100	100	100	100	100
Näytealat I—V ja VII v. 1963 — *Sample plots I—V and VII in 1963*														
0—5 ..	40.2	—	44.2	68.5	117.0	103.9	53.3	74.4	—	79.2	92.1	85.4	90.2	78.3
5—10 ..	13.7	—	11.1	5.7	14.0	7.3	6.2	25.4	—	19.9	7.7	10.2	6.3	9.1
10—15 ..	0.1	—	0.5	0.2	5.8	2.8	6.0	0.2	—	0.9	0.3	4.2	2.4	8.8
15—20 ..	—	—	—	—	0.2	1.1	2.1	—	—	—	—	0.1	1.0	3.1
20—25 ..	—	—	—	—	—	0.1	0.3	—	—	—	—	△	0.1	0.4
25—30 ..	—	—	—	—	△	—	0.2	—	—	—	—	—	—	0.3
Yhteensä *Total*	54.0	—	55.8	74.4	137.0	115.2	68.1	100	—	100	100	100	100	100
Näytealat 5—10 — *Sample plots 5—10*														
0—5 ..	—	19.2	18.0	40.1	18.7	35.0	14.3	—	75.3	75.3	85.0	63.2	85.8	68.1
5—10 ..	—	5.1	4.6	4.9	8.5	2.8	2.6	—	20.0	19.2	10.4	28.7	6.9	12.4
10—15 ..	—	1.2	1.3	1.6	2.2	1.0	1.1	—	4.7	5.4	3.4	7.4	2.5	5.2
15—20 ..	—	—	△	0.5	0.2	0.6	0.7	—	—	0.1	1.1	0.7	1.5	3.3
20—25 ..	—	—	—	0.1	—	0.8	1.4	—	—	—	0.2	—	2.0	6.7
25—30 ..	—	—	—	—	—	0.6	0.9	—	—	—	—	—	1.5	4.3
Yhteensä *Total*	—	25.5	23.9	47.2	29.6	40.8	21.0	—	100	100	100	100	100	100
Linja B — *Line B*														
0—5 ..	—	37.9	41.0	31.5	24.1	34.8	8.8	—	80.6	65.5	65.5	78.8	62.5	54.0
5—10 ..	—	5.7	19.2	14.8	4.4	6.0	3.4	—	12.1	30.7	30.8	14.4	10.8	20.9
10—15 ..	—	2.2	1.8	1.6	1.8	4.6	2.0	—	4.7	2.9	3.3	5.9	8.3	12.3
15—20 ..	—	1.2	0.6	0.2	0.3	10.3	2.1	—	2.6	1.0	0.4	1.0	18.5	12.9
Yhteensä *Total*	—	47.0	62.6	48.1	30.6	55.7	16.3	—	100	100	100	100	100	100

[1]) LT = Ojittamaton tupasvilläräme — *Undrained cottongrass (Eriophorum vaginatum) pine swamp.*

Taulukko 26. Lyhytjuurten tiheys eri syvyyskerroksissa Liesnevan tutkimusalueen näytealoilla.

Table 26. Density of short roots in different depth layers in sample plots at Liesneva.

Syvyyskerros, cm *Depth layer, cm*	Sarkaleveys, m — *Strip-width, m*						
	LT[1])	80	60	40	20	10	5
	Lyhytjuuria, kpl/juuri-dm — *Number of short roots per dm of long roots*						
Näytealat I—VI v. 1962 — *Sample plots I—VI in 1962*							
0—5	—	13.1	11.4	9.0	9.6	7.0	8.5
5—10	—	8.7	4.7	4.4	5.2	4.8	5.4
10—20	—	5.3	5.0	4.3	6.8	4.6	5.4
Näytealat I—V ja VII v. 1963 — *Sample plots I—V and VII in 1963*							
0—5	17.5	—	19.4	16.5	17.2	18.8	12.6
5—10	11.0	—	15.7	6.9	7.1	7.2	6.3
10—20	8.0	—	6.2	4.5	11.4	9.6	12.0
Näytealat 6—10 — *Sample plots 6—10*							
0—5	—	7.3	6.7	9.9	5.9	11.6	9.3
5—10	—	4.4	3.5	3.3	4.1	3.6	4.6
10—20	—	4.9	5.1	3.9	4.3	3.7	4.8
Linja B — *Line B*							
0—5	—	17.4	15.9	12.7	8.3	9.2	5.1
5—10	—	8.6	14.0	8.9	4.9	3.6	3.2
10—20	—	8.9	10.0	6.4	6.0	10.1	5.3

[1]) LT = Ojittamaton tupasvillaräme — *Undrained cottongrass (Eriophorum vaginatum) pine swamp.*

Taulukko 27. Lyhytjuurten määrä eri syvyyskerroksissa Jaakkoinsuon sarkaleveyskoekentän näytealoilla.

Table 27. Number of short roots in different depth layers on Jaakkoinsuo strip-width experimental field.

Syvyyskerros, cm *Depth layer, cm*	Sarkaleveys, m — *Strip-width, m*									
	40	30	25	22	15	40	30	25	22	15
	Lyhytjuuria, 1 000 kpl/m² *Thousands of short roots per sq.m*					% lyhytjuurten kokonaislukumäärästä *Per cent of total number of short roots*				
0—5	63.8	77.7	51.7	57.6	129.3	83.5	78.6	86.5	76.4	78.0
5—10	10.5	14.3	5.8	7.4	25.5	13.7	14.5	9.7	9.8	15.4
10—15	2.1	5.3	1.8	8.7	8.4	2.7	5.4	3.0	11.5	5.1
15—20	—	1.4	0.5	1.7	2.3	—	1.4	0.8	2.3	1.4
20—25	—	0.1	—	—	0.3	—	0.1	—	—	0.2
Yhteensä — *Total*	76.4	98.8	59.8	75.4	165.8	100	100	100	100	100

Taulukko 28. Lyhytjuurten tiheys eri syvyyskerroksissa Jaakkoinsuon sarkaleveyskoekentän näytealoilla.

Table 28. Density of short roots in different depth layers on Jaakkoinsuo strip-width experimental field.

Syvyyskerros, cm *Depth layer, cm*	Sarkaleveys, m — *Strip-width, m*				
	40	30	25	22	15
	Lyhytjuuria, kpl/juuri-dm — *Number of short roots per dm of long roots*				
0—5	13.2	12.7	9.2	10.2	13.1
5—10	7.9	10.4	5.8	7.4	10.5
10—20	14.2	13.0	6.1	15.8	9.6

tynyt jonkin verran kuivatuksen johdosta. Esillä olevan tutkimuksen tulosten mukaan lyhytjuurten syvyyden kasvu on sitä suurempaa, mitä tehokkaampi kuivatus on.

Vesitalouden järjestelystä kuluneen ajan vaikutus lyhytjuurten syvyysjakaantumiseen näyttää pääpiirteissään samanlaiselta kuin pitkäjuurtenkin syvyysjakaantumiseen (vrt. s. 58). Todettakoon kuitenkin, että Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentällä on lyhytjuurten muodostus heikentynyt erityisesti 5 cm:ä syvemmällä näytealalla, jossa pohjavesi on ollut yli neljän vuoden ajan keskimäärin 12 cm:n etäisyydellä maanpinnasta. Pitkäjuurten toimeentuloon ei tämä vesitalouden järjestely ole vaikuttanut.

Verrattaessa keskenään lyhytjuurten syvyysjakaantumista Kivalon Sattasuon ja Vilppulan Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentillä todetaan, että lyhytjuuria on ollut Sattasuolla ohuemmassa maakerroksessa kuin Jaakkoinsuolla. Kun Jaakkoinsuon kaikilla näytealoilla lyhytjuuria on ollut ainakin 0—15 cm:n syvyydessä, on niitä Sattasuolla ollut yhtä poikkeusta lukuunottamatta vain 0—10 cm:n kerroksessa. Lyhytjuurten esiintyminen on täten ollut, kuten pitkäjuurienkin, Pohjois-Suomessa pinnallisempi kuin Etelä-Suomessa.

46. Mykoritsasuhteet

Mykoritsatutkimukset suoritettiin pääasiassa, kuten edellä (s. 12) jo on esitetty, selvittämällä näytteistä lyhytjuurten ulkoasun nojalla ja stereomikroskooppia apuna käyttäen ns. »hyvien» mykoritsojen määrä. Ojasyvyyskoekentillä tutkittiin mykoritsasuhteita tämän lisäksi myös mikroskooppisesti lyhytjuurista tehtyjen leikkeiden perusteella. Tutkittavaksi otettiin kunkin 5 cm:n paksuisen näyteosan joka 20. lyhytjuuri, kuitenkin niin, että enimmäismäärä oli näyteosaa kohden 10 kpl ja vähimmäismäärä 3 kpl. Viimeksi mainitut tutkimukset suoritettiin vuosina 1964 ja 1965 otetuista näytteistä.

Taulukko 29. »Hyvien» mykoritsojen määrä eri syvyyskerroksissa Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekenttien näytealoilla v. 1963.

Table 29. Number of »good» mycorrhizae in different depth layers on Jaakkoinsuo and Sattasuo ditch-depth experimental fields in 1963.

Syvyyskerros, cm *Depth layer, cm*	Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys, cm *Regulated water level in the ditches, cm*							
	10	30	50	70	10	30	50	70
	»Hyviä» mykoritsoja, 1 000 kpl/m² *Thousands of »good» mycorrhizae per sq.m*				»Hyviä» mykoritsoja, % lyhytjuurten kokonaislukumäärästä *»Good» mycorrhizae, per cent of total number of short roots*			
Jaakkoinsuon koekenttä A — *Experimental field A at Jaakkoinsuo*								
0—5	8.0	5.0	6.5	10.8	15.5	7.6	13.7	19.3
5—10	—	—	0.3	0.1	—	—	6.7	1.3
0—10	8.0	5.0	6.8	10.9	14.7	7.4	12.4	16.2
Jaakkoinsuon koekenttä B — *Experimental field B at Jaakkoinsuo*								
0—5	9.5	4.0	2.6	11.8	11.4	5.5	4.5	12.9
5—10	1.1	0.4	0.1	1.2	7.5	3.5	1.4	19.0
10—15	—	—	—	0.1	—	—	—	(10.0)
0—15	10.6	4.4	2.7	13.1	10.5	5.2	4.0	13.3
Sattasuon koekenttä — *Experimental field at Sattasuo*								
0—5	1.5	0.6	0.7	0.1	5.7	2.2	2.6	1.0
5—10	0.1	—	—	—	3.8	—	—	—
0—10	1.6	0.6	0.7	0.1	5.5	2.1	2.5	1.0

Taulukosta 29 nähdään ne tulokset, jotka on saatu »hyvien» mykoritsojen esiintymisestä Liesnevan ja Sattasuon ojasyvyyskoekentillä v. 1963.

Jaakkoinsuolla ei kuivatuksen tehokkuuden ja »hyvien» mykoritsojen kokonaismäärän välillä vallitse selvää riippuvuussuhdetta, joskin kummallakin koekentällä (A ja B) »hyviä» mykoritsoja oli eniten näytealoilla, joita ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on suurin. Syvyysjakaantumisesta voidaan todeta, että koekentällä A »hyviä» mykoritsoja oli 0—10 cm:n syvyydessä niillä näytealoilla, joissa säännöstelysyvyys on 50 cm ja 70 cm ja muilla näytealoilla vain 0—5 cm:n syvyydessä. Koekentällä B »hyviä» mykoritsoja oli 0—15 cm:n syvyydessä näytealalla, jossa säännöstelysyvyys on 70 cm. Muilla näytealoilla »hyviä» mykoritsoja oli 0—10 cm:n kerroksessa.

Sattasuolla »hyviä» mykoritsoja oli runsaimmin näytealoilla, joita ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10 cm. Näillä näytealoilla »hyviä» mykoritsoja myös todettiin olevan 0—10 cm:n syvyydessä eli syvemmällä kuin muilla näytealoilla. Tulosten yleinen suunta oli muutenkin erilainen kuin Jaakkoinsuolla. Niinpä »hyviä» mykoritsoja tavattiin suhteellisesti vähiten näytealoilla, joissa säännöstelysyvyys on 70 cm. Taulukosta 29 havai-

Taulukko 30. Mykoritsasuhteet 0—10 cm:n syvyydessä Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekenttien näytealoilla (vv. 1964—1965).

Table 30. Mycorrhizal relations in depth layer of 0—10 cm on Jaakkoinsuo and Sattasuo ditch-depth experimental fields (in 1964—1965).

Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys, cm *Regulated water level in the ditches, cm*	Syvyyskerros — *Depth layer* 0—5 cm					Syvyyskerros — *Depth layer* 5—10 cm				
	Tutkittuja lyhytjuuria, kpl *Number of short roots examined*	Varsinaisia mykoritsoja *True mycorrhizae*				Tutkittuja lyhytjuuria, kpl *Number of short roots examined*	Varsinaisia mykoritsoja *True mycorrhizae*			
		»Hyviä» kpl *»Good»*	Muita, kpl *Others*	Yhteensä *Total* kpl	Yhteensä *Total* %		»Hyviä», kpl *»Good»*	Muita, kpl *Others*	Yhteensä *Total* kpl	Yhteensä *Total* %
Jaakkoinsuon koekenttä B v. 1964 — *Experimental field B at Jaakkoinsuo in 1964*										
10	58	4	25	29	50	20	—	7	7	35
70	89	5	45	50	56	17	—	7	7	41
Jaakkoinsuon koekenttä B v. 1965 — *Experimental field B at Jaakkoinsuo in 1965*										
10	85	—	22	22	26	19	—	3	3	16
30	112	10	39	49	44	28	2	11	13	46
50	140	4	48	52	37	55	—	15	15	27
70	131	7	48	55	42	16	—	5	5	31
Sattasuon koekenttä v. 1964 — *Experimental field at Sattasuo in 1964*										
10	150	4	65	69	46	36	2	11	13	36
70	105	15	46	61	58	34	—	12	12	35

taan edelleen, että »hyviä» mykoritsoja oli tutkimusten mukaan Sattasuolla vähemmän kuin Jaakkoinsuolla paitsi maan pinta-alayksikköä kohden myös prosentteina kaikista lyhytjuurista.

Vuonna 1963 suoritetut tutkimukset viittasivat esitetyn mukaan siihen, että mykoritsojen muodostus on erilainen Jaakkoinsuolla ja Sattasuolla ja että myös kuivatuksen vaikutus mykoritsasuhteisiin on toisistaan poikkeava näillä tutkimusalueilla. Tämän takia suoritettiin seuraavana vuonna lisätutkimuksia kummallakin alueella. Jaakkoinsuolla jatkettiin mykoritsatutkimuksia myös v. 1965. Tutkimusten tulokset selviävät taulukosta 30. Tuloksia, jotka on saatu 10 cm syvemmältä, ei esitetä aineiston pienuuden takia.

Taulukosta 30 havaitaan, että varsinaisten mykoritsojen osuus tutkituista lyhytjuurista oli v. 1964 jokseenkin yhtä suuri Jaakkoinsuolla ja Sattasuolla sekä 10 cm:n että 70 cm:n säännöstelysyvyyttä käytettäessä. Tulokset eivät näin ollen tue edellisen vuoden tutkimusten perusteella saatua käsitystä, jonka mukaan mykoritsasuhteissa olisi ero mainittujen tutkimusalueiden välillä.

Taulukosta 30 ilmenee myös, että Jaakkoinsuon koekentän näytealalla, jota ympäröivän ojan vedenpinnan säännöstelysyvyys on 10 cm, on varsi-

naisten mykoritsojen suhteellinen osuus tutkituista lyhytjuurista selvästi vähentynyt vuosien 1964 ja 1965 välisenä aikana. Tämä väheneminen todetaan sekä 0—5 cm:n että 5—10 cm:n syvyydessä. Varsinaisten mykoritsojen osuuden vastaava pieneneminen havaitaan, joskin huomattavasti heikompana, myös näytealalla, jossa säännöstelysyvyys on 70 cm. Taulukosta nähdään edelleen, ettei mykoritsasuhteissa ollut v. 1965 selviä eroja niiden Jaakkoinsuon näytealojen välillä, joissa säännöstelysyvyys on 30, 50 ja 70 cm. Lisäksi todetaan, että yhtä poikkeusta lukuunottamatta varsinaisten mykoritsojen osuus tutkituista lyhytjuurista oli eri näytealoilla 0—5 cm:n syvyydessä suurempi kuin 5—10 cm:n syvyydessä.

Liesnevan sarkaleveyskoekentällä tutkittiin maan vesitalouden järjestelyn vaikutusta »hyvien» mykoritsojen esiintymiseen avo-ojitetun koekentän näytealoilta I—V ja VII v. 1963 otettujen näytteiden perusteella. Tulokset on esitetty taulukossa 31. Havaitaan, että Liesnevalla »hyvien» mykoritsojen määrä maan pinta-alayksikköä kohden oli 5—60 m:n saroilla tuntuvasti suurempi kuin ojittamattomalla tupasvillarämeellä. Erilevyisiltä saroilta saatujen tulosten vertailu osoittaa, että 5—20 m:n saroilla »hyviä» mykoritsoja oli enemmän kuin 40—60 m:n saroilla. Vastaavat erot todetaan myös tarkasteltaessa »hyvien» mykoritsojen suhteellista osuutta lyhytjuurten kokonaismäärästä eri näytealoilla. Kun esim. 5—20 m:n saroilla kaikista lyhytjuurista 10 % tai sitä enemmän oli »hyviä» mykoritsoja, oli niitä ojittamattomalla tupasvillarämeellä vain 3.0 % lyhytjuurten kokonaismäärästä.

Taulukosta 31 ilmenee, että suurin osa »hyvistä» mykoritsoista oli kaikilla Liesnevan näytealoilla 0—5 cm:n syvyydessä. Ojittamattomalla tupasvillarämeellä ja 40—60 m:n saroilla »hyviä» mykoritsoja oli vain 0—10 cm:n kerroksessa. Sen sijaan 5—20 m:n saroilla niitä oli myös syvemmällä, 5 m:n saralla aina 25—30 cm:n syvyyteen asti. Taulukon 31 lukujen mukaan on »hyviä» mykoritsoja siis muodostunut ojitetussa rämemännikössä syvempiin maakerroksiin kuin ojittamattomassa rämemännikössä vasta siinä tapauksessa, että sarkaleveys on ollut 20 m tai sitä pienempi. Taulukosta 31 nähdään myös, että 5—20 m:n saroilla oli »hyvien» mykoritsojen osuus lyhytjuurten kokonaismäärästä 0—5 cm:n kerroksessa jonkin verran ja sitä syvemmällä selvästi suurempi kuin 40—60 m:n saroilla.

Jaakkoinsuon sarkaleveyskoekentällä oli sekä »hyvien» mykoritsojen absoluuttisessa että suhteellisessa määrässä eroja eri näytealojen välillä (taulukko 32). Nämä erot eivät korreloi kuivatuksen tehokkuuden tai vesitalouden järjestelystä kuluneen ajan kanssa, eikä niiden riippuvuutta muista tekijöistä voida päätellä tutkimusaineiston perusteella. »Hyvien» mykoritsojen esiintymissyvyys oli Jaakkoinsuolla lähes sama kuin Liesnevan koekentän vastaavilla sarkaleveyksillä, joskin Jaakkoinsuolla »hyviä» mykoritsoja oli 40 m:n saralla syvemmällä kuin Liesnevalla.

Taulukko 31. »Hyvien» mykoritsojen määrä eri syvyyskerroksissa Liesnevan tutkimusalueen näytealoilla I—V ja VII.

Table 31. Number of »good» mycorrhizae in different depth layers in sample plots I—V and VII at Liesneva

Syvyyskerros, cm *Depth layer, cm*	Sarkaleveys, m — *Strip-width, m*											
	LT[1])	60	40	20	10	5	LT	60	40	20	10	5
	»Hyviä» mykoritsoja, 1 000 kpl/m² *Thousands of »good» mycorrhizae per sq.m*						»Hyviä» mykoritsoja, % lyhytjuurten kokonaislukumäärästä *»Good» mycorrhizae, per cent of total number of short roots*					
0—5	1.3	4.4	4.7	12.9	12.6	5.8	3.2	10.0	6.9	11.0	12.1	10.9
5—10	0.3	0.2	0.1	0.5	0.2	0.5	2.2	1.8	1.8	3.6	2.7	8.1
10—15	—	—	—	0.3	0.2	0.3	—	—	—	(5.2)	(7.1)	(5.0)
15—20	—	—	—	—	0.2	0.2	—	—	—	—	(18.2)	(9.5)
20—25	—	—	—	—	—	0.1	—	—	—	—	—	(20.0)
25—30	—	—	—	—	—	△	—	—	—	—	—	—
0—30	1.6	4.6	4.8	13.7	13.2	6.9	3.0	8.2	6.5	10.0	11.5	10.1

[1]) LT = Ojittamaton tupasvillaräme — *Undrained cottongrass (Eriophorum vaginatum) pine swamp.*

Aikaisemmissa tutkimuksissa (Melin 1917, Malmström 1935, Björkman 1941, 1942, Heikurainen 1955 b) on osoitettu, että varsinaisten mykoritsojen osuus lyhytjuurten kokonaismäärästä kasvaa ja pseudomykoritsojen osuus vähenee kuivatuksen johdosta. Ojitus vaikuttaa siis lyhytjuurten laatua parantavasti (Heikurainen 1955 b, s. 66). Samansuuntaiseen tulokseen on tultu myös tässä tutkimuksessa. Liesnevan alueelta saadut tulokset osoittavat lisäksi, että kuivatuksen tehokkuudella on ratkaiseva vaikutus hyvänlaatuisten mykoritsojen määrään ja syvyys-

Taulukko 32. »Hyvien» mykoritsojen määrä eri syvyyskerroksissa Jaakkoinsuon sarkaleveyskoekentän näytealoilla.

Table 32. Number of »good» mycorrhizae in different depth layers on Jaakkoinsuo strip-width experimental field.

Syvyyskerros, cm *Depth layer, cm*	Sarkaleveys, m — *Strip-width, m*									
	40	30	25	22	15	40	30	25	22	15
	»Hyviä» mykoritsoja, 1 000 kpl/m² *Thousands of »good» mycorrhizae per sq.m*					»Hyviä» mykoritsoja, % lyhytjuurten kokonaislukumäärästä *»Good» mycorrhizae, per cent of total number of short roots*				
0—5	7.5	4.5	9.0	8.5	5.0	11.8	5.8	17.4	14.8	3.9
5—10	0.3	1.3	0.1	1.7	2.2	2.9	9.1	1.7	23.0	8.6
10—15	0.1	0.3	0.1	2.3	0.3	(4.8)	(5.7)	(5.6)	(26.4)	(3.6)
15—20	—	—	—	0.1	0.2	—	—	—	(5.9)	(8.7)
0—20	7.9	6.1	9.2	12.6	7.7	10.3	6.2	15.4	16.7	4.6

jakaantumiseen rämemännikön juuristossa. Mykoritsoja on sitä runsaammin, ja niiden esiintymissyvyys on sitä suurempi, mitä tehokkaampi kuivatus on.

Heikuraisen (1955 b) tulosten mukaan ojituksesta johtuva mykoritsasuhteiden muuttuminen rajoittuu juuriston ylimpiin osiin. Esillä olevan tutkimuksen tulokset, jotka eivät ole näytealojen laadun vuoksi täysin vertailukelpoisia Heikuraisen tutkimuksen kanssa, viittaavat siihen, että kuivatuksen ollessa hyvin tehokas, myös pintaturvetta syvemmällä olevien juuriston osien mykoritsasuhteissa tapahtuu muutoksia. Tehokkaastikin ojitetun rämemännikön juuristolle näyttää kuitenkin olevan ominaista mykoritsamuodostuksen heikentyminen siirryttäessä turpeen pintaosia syvemmälle, minkä myös mm. Heikuraisen (1955 b) tutkimukset osoittavat.

Tarkasteltaessa mykoritsasuhteiden muuttumisen riippuvuutta vesitalouden järjestelystä kuluneesta ajasta todetaan, että Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentällä mykoritsojen esiintymissyvyys on saattanut vähän lisääntyä kolmen kasvukauden kuluessa, kun kuivatus on ollut hyvin tehokas (näytealoja ympäröivien ojien vedenpinnan säännöstelysyvyyden ollessa 50 cm ja 70 cm). Yli neljän vuoden kuluttua ilmeni samalla koekentällä tehdyissä tutkimuksissa, että mykoritsojen muodostus on heikentynyt näytealalla, jossa pohjaveden etäisyys maanpinnasta on ollut 12 cm. Muunlaista riippuvuussuhdetta kuivatuksen tehokkuuden ja mykoritsojen muodostuksen välillä ei tällöin todettu. Liesnevalla, jossa vesitalouden järjestelystä on kulunut n. 10 vuotta, ilmeni mykoritsasuhteiden muuttuminen ja muutosten riippuvuus kuivatuksen tehokkuudesta varsin selvästi. Vaikkakaan mykoritsojen syvyysjakaantumisessa ei todettu selviä eroja Liesnevan ja Jaakkoinsuon vanhan ojitusalueen välillä, näyttää mahdolliselta, että edellytykset mykoritsojen muodostukselle paranevat vähitellen syvyyssuunnassa ojituksen iän kasvaessa yli 10 vuoden.

Etelä- ja Pohjois-Suomessa sijainneilta tutkimusalueilta saatujen tulosten nojalla ei voida päätellä, onko rämemännikön mykoritsasuhteissa eroja ko. ilmastoalueiden välillä.

47. Juuriston rakenne ja puuston kasvu

Jo Multamäen (1916, 1923) ja Lukkalan (1929, 1937, 1951) suorittamista tutkimuksista ilmenee, että puuston ojituksen jälkeiseen elpymiseen vaikuttavat olennaisesti paitsi suotyyppi myös puiden ikä ja koko. Nuoret ja kasvuisat puut elpyvät nopeammin kuin vanhat suotyypin ollessa sama. Pituuskasvun ja paksuuskasvun elpymisestä todetaan, että paksuuskasvu saattaa elpyä ojituksen vaikutuksesta silloinkin, kun ojitus ei lisää pituuskasvua. Tähän tulokseen ovat tulleet myös Heikurainen ja Kuusela (1962), jotka ovat lisäksi osoittaneet, että nimenomaan puun

Taulukko 33. Puuston keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu ja sädekasvu Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekenttien näytealoilla vv. 1961—1964.[1])

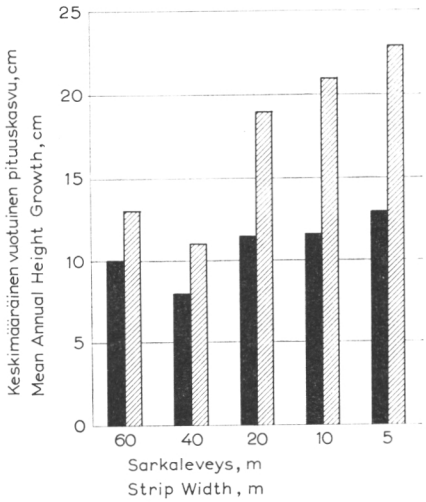
Table 33. Mean annual height and radial growth of the stands on Jaakkoinsuo and Sattasuo ditch-depth experimental fields in 1961—1964.[1])

Ojien vedenpinnan säännöstelysyvyys, cm *Regulated water level in the ditches, cm*	Keskimääräinen pituuskasvu (mm) vuonna *Mean height growth (mm) in the year*				Keskimääräinen sädekasvu (mm) vuonna *Mean radial growth (mm) in the year*			
	1961	1962	1963	1964	1961	1962	1963	1964
Jaakkoinsuon koekenttä A — *Experimental field A at Jaakkoinsuo*								
10	86	139	92	—	0.65	0.70	0.56	—
30	86	144	98	—	0.45	0.50	0.49	—
50	113	142	107	—	0.53	0.68	0.63	—
70	80	139	92	—	0.65	0.74	0.67	—
Keskimäärin *Average* 10—70	91	141	97	—	0.57	0.66	0.59	—
Jaakkoinsuon koekenttä B — *Experimental field B at Jaakkoinsuo*								
10	—	151	95	40	—	0.85	0.58	0.65
30	116	153	103	99	0.74	0.84	0.73	0.70
50	111	145	104	103	0.57	0.58	0.50	0.54
70	126	169	145	165	0.68	0.74	0.68	0.74
Keskimäärin *Average* 10—70	118	154	112	102	0.66	0.75	0.62	0.66
Sattasuon näytesarja A — *Sample series A at Sattasuo*								
10	126	81	84	60	0.32	0.27	0.40	0.40
30	110	67	78	81	0.32	0.23	0.35	0.42
50	138	102	80	96	0.37	0.34	0.43	0.51
70	116	86	89	91	0.36	0.34	0.45	0.54
Keskimäärin *Average* 10—70	122	84	83	82	0.34	0.30	0.41	0.47
Sattasuon näytesarja B — *Sample series B at Sattasuo*								
10	155	72	72	58	0.37	0.26	0.41	0.48
30	210	156	130	146	0.43	0.43	0.52	0.80
50	—	156	98	138	—	0.51	0.62	0.92
70	—	140	100	138	—	0.48	0.49	0.73
Keskimäärin *Average* 10—70	182	131	100	120	0.40	0.42	0.51	0.73

[1]) Huikarin (1965 liite 4, taulukot 39—41, 43) mukaan — *According to Huikari (1965, Appendix 4, Tables 39—41, 43).*

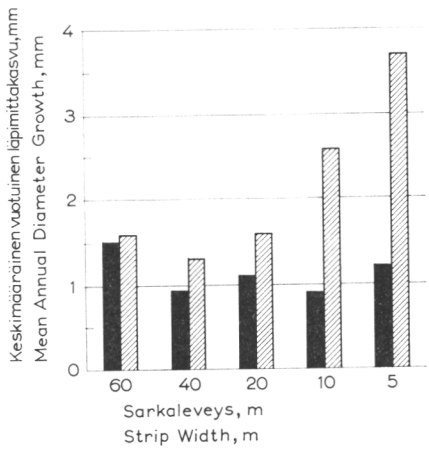
koolla on ratkaiseva merkitys sen elpymiselle ojituksen vaikutuksesta. Niinpä ojitus ei yleensä vaikuta 12 m:ä pitempien puiden pituuskasvuun.

Tarkasteltaessa tämän tutkimuksen näytealojen puustoja edellä mainittujen kasvututkimusten antamien tulosten valossa todetaan, että ojasyvyyskoekentillä ovat keskenään vertailtavat puustot olleet vesitalouden järjestelyä suoritettaessa ilmeisesti samanveroisia elpymiskyvyltään. Näin on asian



Kuva 14. Koepuiden keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu ennen ojitusta (1948—1954, mustat pylväät) ja ojituksen jälkeen (1956—1962, vinoviivoitetut pylväät) Liesnevan avo-ojitetun koekentän erilevyisillä saroilla.

Figure 14. Mean annual height growth of sample trees before ditching (1948—1954, black graph) and after ditching (1956—1962, diagonally shaded graph) by different strip widths on the open ditch experimental field at Liesneva.

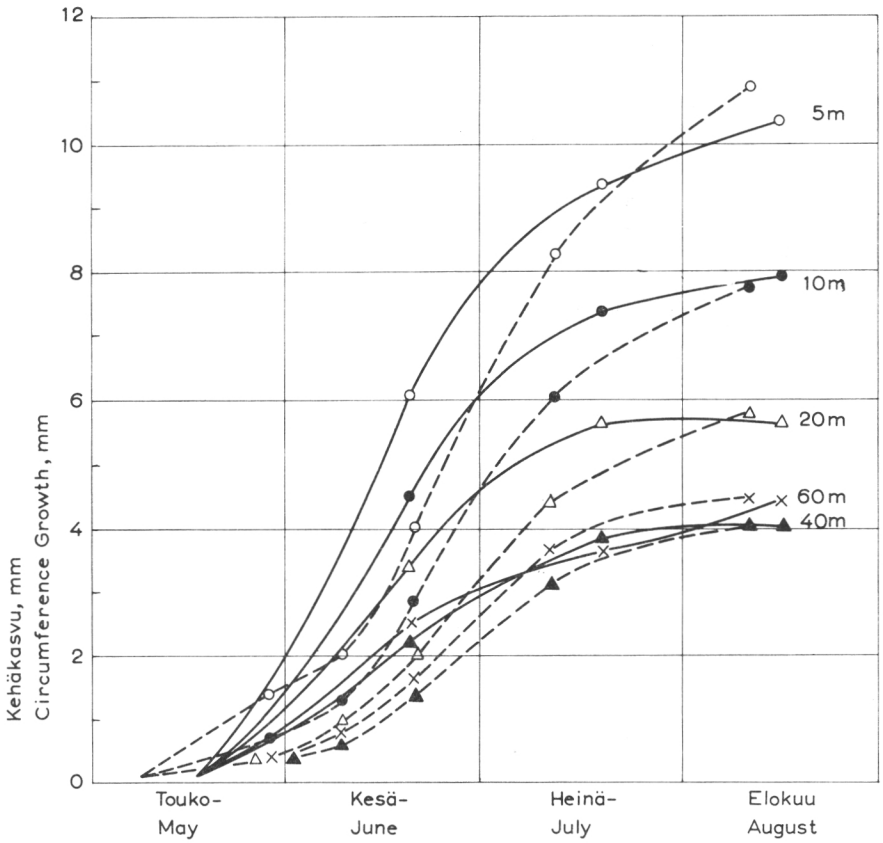


Kuva 15. Koepuiden keskimääräinen vuotuinen läpimittakasvu rinnankorkeudella ennen ojitusta ja ojituksen jälkeen Liesnevan avo-ojitetun koekentän erilevyisillä saroilla. Pylväiden selitys kuten kuvassa 14.

Figure 15. Mean annual diameter growth at breast height of sample trees before ditching and after ditching by different strip widths on the open-ditch experimental field at Liesneva. The explanation of the graphs is the same as in Figure 14.

laita myös sarkaleveyskoekentillä Liesnevan salaojitettua koekenttää lukuunottamatta. Tällä koekentällä on 60 m:n saran puuston valtapituus ollut ojitettaessa 8.6 m, kun taas 5—10 m:n sarkojen puusto on ollut n. 3 m pitempää eli siis suunnilleen 12 m:n mittaista (H u i k a r i 1959 c, ss. 10—11). Tämän mukaan salaojitetun koekentän leveiden sarkojen puusto on ollut ojitettaessa elpymiskykyisempää kuin kapeiden sarkojen puusto.

Puuston kasvua koskevat mittaustulokset Jaakkoinsuon ja Sattasuon ojasyvyyskoekentiltä on esitetty taulukossa 33. Kovarianssianalyysin perusteella on todettu, että Jaakkoinsuolla puuston pituuskasvu on ollut vuosina 1963—1964 sitä parempi, mitä suurempaa säännöstelysyvyyttä on käytetty, ja että säännöstelysyvyyden ollessa 10 cm kasvu on selvästi heikentynyt (H u i k a r i 1965). Puuston juurisuhteissa ei ko. näytealoilla ole tapahtunut suuria muutoksia. Merkille pantavaa kyllä on, että mykoritsojen muodostuksen on todettu heikentyneen juuri näytealalla (säännöstelysyvyys 10 cm), jossa vesitalouden järjestelyn jälkeinen puuston kasvu on ollut heikko. Sattasuolla ovat puuston kasvuerot olleet vähäisiä eri näytealojen välillä (H u i k a r i, m.t.). Tämän mukaan juurten kokonaismäärän vähentyminen 70 cm:n säännöstelysyvyyttä käytettäessä ei ole vaikuttanut puuston kasvuun.

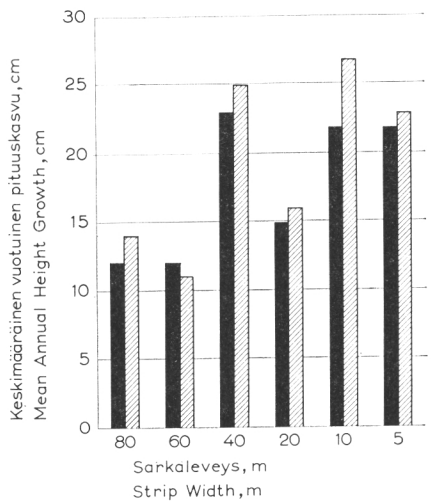


Kuva 16. Koepuiden kehäkasvu rinnankorkeudella Liesnevan avo-ojitetun koekentän erilevyisillä saroilla (yhtenäinen viiva = kehäkasvu v. 1962, katkoviiva = kehäkasvu v. 1963).

Figure 16. Circumference growth at breast height of sample trees by different strip widths on the open-ditch experimental field at Liesneva (unbroken line = circumference growth in 1962, broken line = circumference growth in 1963).

Liesnevan tutkimusalueen avo-ojitetulla koekentällä on puuston ojituksen jälkeinen pituus- ja paksuuskasvu ollut sitä suurempi, mitä tehokkaammin kuivatus on suoritettu (kuvat 14 ja 15). Ero on tosin verraten pieni 40 m:n ja 60 m:n sarkojen välillä, mutta 20 m:n saran puuston kasvun elpyminen on ollut selvästi voimakkaampaa kuin 60 m:n saralla. Kapeimmilla, 5 m:n ja 10 m:n saroilla on puuston pituus- ja paksuuskasvun lisääntyminen ojituksen vaikutuksesta ollut varsin huomattava.

Esitetyn kanssa yhtäpitävän tuloksen antoivat kesinä 1962 ja 1963 pantamittausmenetelmällä suoritetut mittaukset erilevyisillä saroilla kasvavien puiden kehäkasvusta rinnankorkeudella (kuva 16). Mittausten mukaan on puuston kasvu ollut kahdeksantena ja yhdeksäntenä kasvukautena ojituksen jälkeen kapeilla saroilla tuntuvasti suurempi kuin leveillä saroilla.



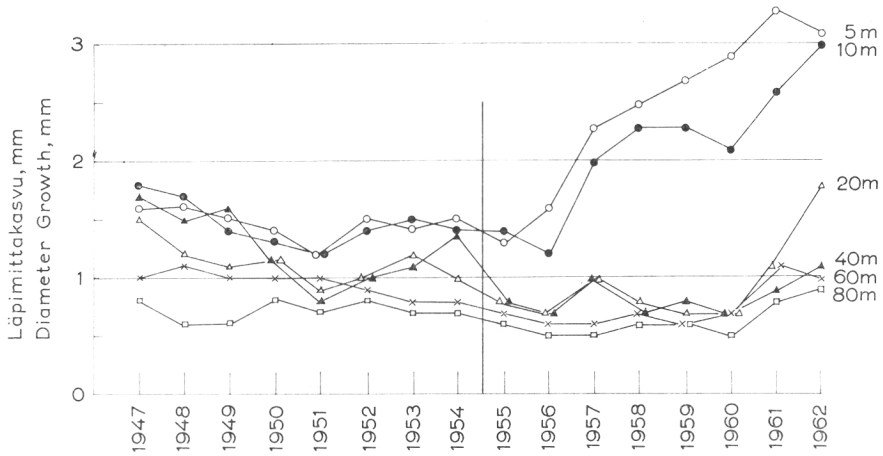
Kuva 17. Koepuiden keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu ennen ojitusta (1946—1953, mustat pylväät) ja ojituksen jälkeen (1955—1962, vinoviivoitetut pylväät) Liesnevan salaojitetun koekentän erilevyisten sarkojen keskellä.

Figure 17. Mean annual height growth of sample trees before ditching (1946—1953, black graph) and after ditching (1955—1962, diagonally shaded graph) in the middle of strips of different widths on the covered-ditch experimental field at Liesneva.

Verrattaessa puuston kasvun mittauksista ja juuristotutkimuksista saatuja tuloksia Liesnevan avo-ojitetulla koekentällä todetaan, ettei kuivatuksesta johtuvan pitkäjuurten ja lyhytjuurten kokonaismäärän lisääntymisen ja puuston kasvun elpymisen välillä ole selvää riippuvuussuhdetta. Ojituksen jälkeinen puuston kasvuhan on ollut paras 5 m:n ja 10 m:n saroilla, joissa sekä pitkäjuurten että lyhytjuurten määrä on ollut suhteellisen pieni ja yleensä pienempi kuin 20 m:n saralla. Puuston kasvun elpyminen ja juuriston syvyyden lisääntyminen ovat sen sijaan keskenään korrelaatiossa. Varsin selvä vuorosuhde vallitsee myös puuston kasvun ja »hyvien» mykoritsojen esiintymisen välillä. Niinpä 5—20 m:n levyisillä saroilla, joissa puuston kasvu on ollut tuntuvasti parempi kuin 40—60 m:n saroilla, on myös »hyviä» mykoritsoja ollut enemmän ja niitä on tavattu syvemmissä maakerroksissa kuin 20 m:ä leveämmillä saroilla.

Liesnevan salaojitetun koekentän leveillä saroilla on puuston elpymiskyky ollut ojitettaessa ilmeisesti parempi kuin kapeilla saroilla, kuten edellä todettiin. Sen vuoksi kasvumittaukset eivät anna tällä alueella täysin oikeata kuvaa kuivatuksen tehokkuuden merkityksestä puuston kasvulle. Seuraavassa tarkastellaan kuitenkin niitä tuloksia, jotka on saatu näytealoilla 5—10 suoritetuista mittauksista.

Kuvasta 17 havaitaan, että salaojitetun koekentän erilevyisten sarkojen keskisaran ojituksen jälkeinen pituuskasvu on ollut samaa suuruusluokkaa kuin ojitusta edeltänyt pituuskasvu. Puuston pituuskasvu ei siis ole elpynyt sarkojen keskellä 5—80 m:n levyisiä sarkoja käytettäessä. Samoilla näytealoilla on puuston paksuuskasvu lievästi taantunut ennen ojitusta (kuva 18). Ojituksen jälkeen paksuuskasvu on edelleen taantunut tai pysynyt ojitusta edeltäneellä tasolla 20—80 m:n saroilla, joskin 20 m:n saralla ehkä vähän



Kuva 18. Koepuiden vuotuinen läpimittakasvu rinnankorkeudella ennen ojitusta ja sen jälkeen Liesnevan salaojitetun koekentän erilevyisten sarkojen keskellä.

Figure 18. Annual diameter growth at breast height of sample trees before and after ditching in the middle of strips of different widths on the covered-ditch experimental field at Liesneva.

lisääntynyt v. 1962. Kapeimmilla (5 m, 10 m) saroilla puuston paksuuskasvu on lisääntynyt jyrkästi pari vuotta ojituksen jälkeen ja on siitä lähtien ollut selvästi suurempi kuin niitä leveämmillä saroilla kasvavien puiden paksuuskasvu. Paksuuskasvu on näin ollen elpynyt, vaikka ojitus ei ole vaikuttanut pituuskasvuun (vrt. s. 76).

Mittaustulosten mukaan ei puuston paksuuskasvu eikä myöskään pituuskasvu ole juuri lainkaan elpynyt Liesnevan salaojitetun koekentän erilevyisten sarkojen keskellä sarkaleveyden vaihdellessa 20 m:stä 80 m:in. Samoilla näytealoilla on todettu sekä pitkäjuurten että lyhytjuurten määrän lisääntyvän sarkaleveyden pienentyessä 80 m:stä 20 m:in. Tämän mukaan kuivatuksen aiheuttamat juuriston määrälliset muutokset pintaturpeessa eivät ole vuorosuhteessa puuston kasvun elpymisen kanssa salaojitetulla koekentällä. Selvä korrelaatio on sen sijaan puuston kasvun ja juuriston syvyyden välillä. Paksuuskasvu on elpynyt voimakkaasti 5 m:n ja 10 m:n saroilla, vaikka juuri näillä kapeilla saroilla puuston elpymiskyky on ollut ojitettaessa heikko. Samoilla saroilla juuria oli pintaturpeessa suhteellisen vähän, mutta juuriston syvyysulottuvuus tuntuvasti suurempi kuin muilla saroilla.

Jaakkoinsuon sarkaleveyskoekentän näytealoilla suoritetut mittaukset osoittavat, että kapeilla saroilla ojitettaessa on voitu lisätä huomattavasti puuston paksuuskasvua kohta ojituksen jälkeen (taulukko 34). Paksuuskasvu on myöhemmin pienentynyt, mutta vielä yli 20 vuoden kuluttua ojituksen suorittamisesta kasvu on ollut selvästi suurempi kuin ennen vesitalouden järjestelyä (esim. 15 m:n saralla). Näytealojen puuston kuutiokasvu oli v. 1963 suurin 15 m:n ja 22 m:n levyisillä saroilla, kuten seuraavasta asetelmasta

Taulukko 34. Koepuiden keskimääräinen vuotuinen läpimittakasvu Jaakkoinsuon sarkaleveyskoekentän näytealoilla.

Table 34. Mean annual diameter growth of sample trees on Jaakkoinsuo strip-width experimental field.

Sarkaleveys, m *Strip-width, m*	Ojitettu, vuonna *Drainage, in the year*	Keskimääräinen läpimittakasvu (mm/v) *Mean diameter growth (mm/year)*			
		1925—1934	1935—1944	1945—1954	1955—1963
40	1915—1923	1.4	1.9	2.0	1.9
30	1950	0.9	1.5	1.0	2.0
25	1937—1950	0.9	2.4	2.2	1.9
22	1923—1925	1.4	3.6	2.4	2.1
15	1935—1937	0.9	4.2	3.0	2.4

havaitaan. Tämä johtuu ensi sijassa kuutiomäärästä, joka oli suurin ko. näytealoilla.

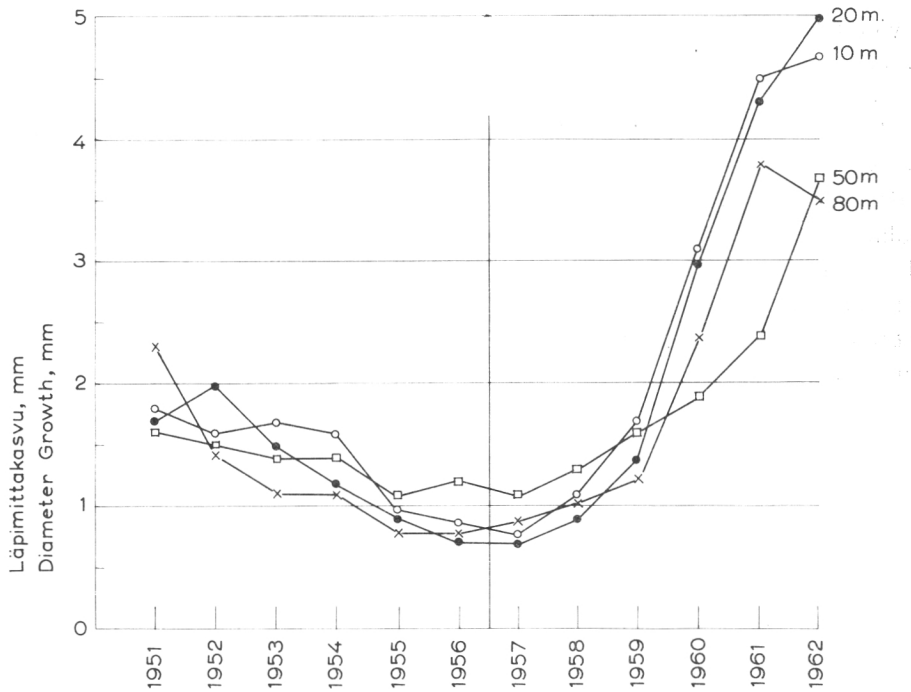
	Sarkaleveys, m — *Strip-width, m*				
	40	30	25	22	15
Vuotuinen juoks. kasvu, k-m³/ha kuoretta .... *Annual growth, m³/ha excl. bark*	2.2	1.7	2.0	3.2	3.3

Esitetyn mukaan ojituksen jälkeinen puuston kasvu on ollut myös Jaakkoinsuon koekentällä sitä suurempi, mitä tehokkaampi kuivatus on ollut. Samaan aikaan kun paksuuskasvu on voimakkaasti elpynyt, on juuriston rakenteessakin tapahtunut suuria muutoksia juuriston syvyyden lisääntyessä ja juurten määrän kasvaessa.

Mortin sarkaleveyskoekentän näytealojen puusto on pääasiassa nuorta taimistoa, jonka elpymiskyky on hyvä. Puuston pituus- ja paksuuskasvu onkin lisääntynyt kaikilla näytealoilla kuivatuksen vaikutuksesta. Seuraavasta asetelmasta nähdään, että pituuskasvun lisäys on ollut miltei yhtä suuri erilevyisillä saroilla. Sen sijaan paksuuskasvun lisääntyminen on ollut 10 ja 20 m:n saroilla suurempi kuin 50 ja 80 m:n saroilla (kuva 19).

	Sarkaleveys, m — *Strip-width, m*			
	80	50	20	10
	Keskimääräinen pituuskasvu, cm/v *Mean height growth, cm/year*			
Ennen ojitusta *Before drainage* (1950—1955)	12	13	14	14
Ojituksen jälkeen *After drainage* (1957—1962)	21	20	22	21

Mortin ja Liesnevan koekentiltä saatujen tulosten vertailu osoittaa, että puuston kasvu on elpynyt Mortissa leveämmillä saroilla kuin Liesnevalla.



Kuva 19. Koepuiden vuotuinen läpimittakasvu rinnankorkeudella ennen ojitusta ja sen jälkeen Mortin tutkimusalueen näytealoilla.

Figure 19. Annual diameter growth at breast height of sample trees before and after ditching in the sample plots at Mortti.

Liesnevan alueella puuston kasvu on selvästi elpynyt vasta 20 m:n saralla, Mortissa sen sijaan jo 80 m:n saralla. Tähän tulokseen on ilmeisesti vaikuttanut paitsi puuston hyvä elpymiskyky Mortissa myös suotyyppi, joka oli Mortin koekentällä puuston kasvun kannalta parempi kuin Liesnevalla. Viitattakoon myös siihen, että H e i k u r a i s e n (1957 b, 1959) tutkimusten mukaan puuston kasvu yleensäkin elpyy Pohjois-Suomen sararämeillä verraten leveitä sarkoja käytettäessä.

Verrattaessa puuston kasvumittauksista ja juuristotutkimuksista saatuja tuloksia Mortin koekentällä, todetaan, että tällä alueella ovat sekä juurten kokonaismäärän kasvu että juuriston syvyyden lisääntyminen kuivatuksen vaikutuksesta olleet vuorosuhteessa puuston kasvun elpymisen voimakkuuden kanssa.

Esitettyjen tulosten perusteella ei voida päätellä, edellyttääkö rämemännikön kasvun elpyminen kuivatuksen vaikutuksesta juuriston rakenteessa tapahtuvia muutoksia. Voidaan kuitenkin todeta, että kasvun elpymisen voimakkuus on ollut selvässä riippuvuussuhteessa juuriston syvenemiseen ja mykoritsojen muodostuksen paranemiseen. Puuston kasvu on lisäänty-

nyt huomattavasti vesitalouden järjestelyn jälkeen silloin, kun hyvänlaatuisia mykoritsoja on ollut runsaasti ja myös suon pintaosia syvemmällä. Heikkoa mykoritsamuodostusta on puolestaan vastannut vähäinen puuston kasvu, kuten Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentillä ja Liesnevan sarkaleveyskoekentillä suoritetuissa tutkimuksissa on ilmennyt. Nämä hyvänlaatuisten mykoritsojen esiintymisen ja puuston kasvun välistä korrelaatiota koskevat tulokset ovat yhdenmukaisia aikaisempien tutkimusten (mm. Melin 1927, Björkman 1942, Bergemann 1955, Mikola ja Laiho 1962) kanssa. Saaduista tuloksista ilmenee myös, ettei juurten kokonaismäärän muutosten ja puuston kasvun elpymisen voimakkuuden välillä ollut selvää vuorosuhdetta.

5. TULOSTEN TARKASTELUA

Kuten johdannossa on mainittu, joutuu rämemännikön juuristo ottamaan elintoiminnoilleen välttämättömän hapen kasvuympäristöstä. Juurten toimeentulon edellytyksenä on tämän takia, että maassa joko on riittävän suuri ilmatila tai että maassa oleva vesi sisältää happea. Kuinka suuri ilmatilavuuden on oltava, ei voida varmasti päätellä kirjallisuudessa esitettyjen tietojen perusteella jo sen takia, ettei rämemännikön juuriston suhtautumista maan vesi- ja ilmatilaan ole tutkittu. Tiedot vaihtelevat myös mm. sen mukaan, mistä kasvilajista, vuodenajasta tai juuriston kehitysvaiheesta on kysymys. Usein on n. 10 %:n ilmatilavuutta pidetty tarpeellisena korkeampien kasvien juuriston normaalin kehityksen kannalta (esim. Russell 1952, Bergman 1959). Ilmatila voi olla rämeillä näin suuri vain jonkin matkaa pohjavesipinnan yläpuolella, koska sitä alempana maan huokostila on täysin veden täyttämä. Juuret saattavat kuitenkin tulla toimeen myös pohjavesipinnan alla vallitsevissa olosuhteissa, mikäli vesi on happipitoista. Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten mukaan rämemännikön juuriston kehitys on jatkunut lähes normaalisti, ja juuret ovat pysyneet elossa pohjavesipinnan alla yli neljän vuoden ajan, kun pohjavesi on padottu 12 cm:n etäisyydelle maanpinnasta. Vain lyhytjuurten ja mykoritsojen muodostuksen on todettu heikentyneen 0—10 cm:n syvyydessä. Padotukseen on käytetty lähdevettä, joka on ollut alunperin verraten happi- ja ravinnepitoista. Vesi on lisäksi ollut liikkuvaa, millä on varsin edullinen vaikutus sen happipitoisuuteen (mm. Romell 1922, Tamm 1925, Huikari 1953 a, Troedsson 1955).

Ojituksella poistetaan juurten toimeentuloa haittaava liika vesi, minkä vuoksi juuristojen käytettävissä oleva potentiaalinen kasvutila lisääntyy. Tätä kasvutilan vertikaalista lisääntymistä voidaan kuvata rämemänniköissä maanpinnan ja pohjavesipinnan välisen etäisyyden perusteella, joskaan happipitoinen pohjavesi ei täysin estä juurten toimeentuloa, kuten edellä on esitetty. Voidaan myös odottaa, että juuristo levittäytyy varsin nopeasti pohjavesipinnan alentamisen johdosta lisääntyneeseen kasvutilaan, mikäli olosuhteet maassa ovat muidenkin kasvupaikkatekijöiden kuin vesitalouden puolesta riittävän hyvät juurten kasvu- ja toimintaedellytysten kannalta.

Edellä selostettujen tulosten mukaan valtaosa rämemännikön juuristosta on ollut ns. ojasyvyyskoekentillä ennen kuivatusta 0—10 cm:n syvyydessä. Vesitalouden järjestelyllä on pohjavesipintaa alennettu jopa puolella metrillä. Tästä huolimatta juuristo on ollut kolme kasvukautta kuivatuksen jälkeen yhtä pinnallinen kuin ennen kuivatusta. Kun tiedetään, että männyn juuret kasvavat vuosittain pituutta yleensä 10—50 cm (mm. Engler 1903, Laitakari 1927, Ladefoged 1939), olisi juuristo varmastikin ehtinyt hakeutua entistä syvemmälle, mikäli siellä vallitsevat olosuhteet olisivat olleet yhtä edulliset juurten toimeentulolle kuin suon pintakerroksessa. Tulosten perusteella näyttääkin siltä, ettei kuivatuksella aikaan saatu maan ilmatilan syvyyssuuntainen lisääntyminen aiheuta välittömästi rämemännikön juuriston syvenemistä. Juuriston syvyyteen ei vaikuttane välittömästi myöskään se, että maan happitaloutta parantava happipitoinen sadevesi (esim. Orlov 1958) pääsee kulkeutumaan kuivatuksen jälkeen turpeen pintakerrosta syvemmälle. Juuriston pinnallisuuden syynä on ilmeisesti muiden kasvupaikkatekijöiden epäedullinen tila. Juurten syvyyden kasvua välittömästi ehkäisevänä tekijänä voinee maan lämpötalous tuskin tulla kysymykseen ainakaan Etelä-Suomen olosuhteissa. Niinpä Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentällä suoritettujen mittausten mukaan maan keskilämpötila on ollut esim. vuoden 1963 kesä-elokuussa 20 cm:n syvyydessä 10.6°, mikä on ollut vain 0.7° vähemmän kuin 5 cm:n syvyydessä. Puiden juurethan voivat kasvaa vielä lämpötilan ollessa 6° ja jopa sitä alempi (Hansen 1937, Ladefoged 1939, Reed 1939, Zgurovskaja 1963). Maan ravinnetaloudella saattaa sen sijaan olla tärkeä merkitys juuriston syvyysjakaantumiselle, mihin mahdollisuuteen mm. Paarlahti (1961, 1965) ja Parker (1962) ovat viitanneet. Rämeillähän vaihtuvien ravinteiden, erityisesti fosforin ja kaliumin, pitoisuus on suurin suon pintaosissa ja vähenee jyrkästi sitä syvemmälle mentäessä (Vahtera 1955, Kaila ja Kivekäs 1956, Paarlahti ja Vartiovaara 1958, Binns 1962, Holmen 1964). Juurten pysyminen turpeen pintakerroksessa johtuisi tämän mukaan siitä, että syvemmällä ravinteita on ensimmäisinä vesitalouden järjestelyn jälkeen seuraavina vuosina varsin vähän.

Koska ojitus vaikuttaa elvyttävästi maan pieneliöstön, etenkin aerobien mikrobien toimintaan (Huikari 1953 b, Paarlahti ja Vartiovaara 1958, Paarlahti 1965) vilkastuu ravinteiden mobilisaatio ojituksen jälkeen paitsi turpeen pintaosissa myös sitä syvemmällä. Täten ravinteita on juurten käytettävissä ajan mittaan syvemmällä kuin ennen vesitalouden järjestelyä. Huikarin (1953 b) sekä Paarlahden ja Vartiovaaran (1958) tulosten mukaan ulottuvat pieneliöstössä ja maan ravinnesuhteissa tapahtuvat muutokset kuitenkin pitkänkin ajan ojitettuna olleella suolla enintään 30 cm:n syvyyteen. Jos lähdetään esitetystä olettamuksesta, että maan ravinnetalous vaikuttaa olennaisesti rämemännikön juuriston

syvyysjakaantumiseen, tulisi juuriston syvyyden tämän mukaan vähitellen lisääntyä kuivatuksen jälkeen, ei kuitenkaan kovin paljon. Saatujen tulosten mukaan juuriston syvyys onkin ollut runsaan neljän vuoden kuluttua kuivatuksesta jonkin verran ja 8—9 vuoden kuluttua selvästi suurempi kuin ennen vesitalouden järjestelyä. Tuloksista ilmenee myös, että juuristo on pitkänkin ajan kuluessa levittäytynyt vain osaan maanpinnan ja pohjavesipinnan välisestä kasvutilasta. Ravintoa ottavat lyhytjuuret ovat edelleen olleet varsin pinnallisia, ja mykoritsoja on ollut hyvinkin tehokkaasti ojitetulla suolla enintään 25—30 cm:n syvyydessä.

Rämemännikön juuriston syvyysulottuvuuteen voi vaikuttaa myös se, että rämeillä turve on yleensä yli 30 cm:n syvyydessä maatunutta ja heikosti vettä läpäisevää (mm. Huikari 1959 b, 1959 c). Tällaisessa turpeessa on veden liikkuvuus hidasta, ja verraten vähäinenkin sade täyttää koko huokostilavuuden. Vesitalouden tila voi tämän takia olla syvällä turpeessa sateisina aikoina varsin epäedullinen siitä huolimatta, että ojitus on suoritettu. Mahdollisesti juurten toimeentuloa haittaavat nimenomaan nämä maan vesitalouden epäedulliset kaudet, vaikka pohjavesi olisi kasvukauden aikana keskimäärin yli 0.5 m:n syvyydessä. Tiivis ja maatunut turve voi fysikaalisestikin estää juurten syvyyden kasvua, niinkuin mm. heinäkasveilla suoritettujen kokeiden perusteella on päätelty (Nyström ja Osvald 1918).

Myös juurten kokonaismäärän muuttumista kuivatuksen vaikutuksesta voidaan tarkastella maan ravinnetalouden ja siinä tapahtuvien muutosten valossa. Saatujen tulosten mukaan juurten määrä on lisääntynyt tiettyyn rajaan asti sitä voimakkaammin, mitä tehokkaampi kuivatus on ollut. Yhä tehokkaampi kuivatus ei ole enää vaikuttanut juurten kokonaismäärää lisäävästi. Voidaan olettaa, että ojituksen ollessa hyvin tehokas ravinteiden mobilisaatio on niin voimakasta, ettei puuston tarvitse kasvattaa laajaa juuriverkkoa ravinteiden saannin turvaamiseksi.

Edellä on esitetty, että kuivatuksen vaikutus rämemännikön juuriston rakenteeseen on ensi sijassa välillinen ja että erityisesti maan ravinnetaloudella ja siinä tapahtuvilla muutoksilla saattaa olla keskeinen merkitys juurisuhteiden muuttumiseen. Lisävalaistuksen saamiseksi viimeksi mainittuun kysymykseen tarvitaan soiden ravinnetaloutta koskevia jatkotutkimuksia.

Tutkimustulosten mukaan on puuston kuutiomäärän ja runkoluvun puolesta suunnilleen samanlaisen rämemännikön pitkä- ja lyhytjuurten määrä ollut Pohjois-Suomessa sijainneilla tutkimusalueilla pienempi, ja juuristo on ollut pinnallisempi kuin Etelä-Suomessa. Siitä, miksi juuriston kehitys on ollut Pohjois-Suomessa heikompaa kuin Etelä-Suomessa, ei voida tehdä tämän tutkimuksen aineiston perusteella varmoja johtopäätöksiä. Todennäköisesti tähän on eräänä syynä maan erilainen lämpötalous. Esimerkiksi vuoden 1963 kesä-elokuussa on maan keskilämpötila ollut Pohjois-Suomessa sijainneella Kivalon Sattasuon ojasyvyyskoekentällä 5 cm:n syvyydessä 9.1° ja

20 cm:n syvyydessä 8.1°. Lämpötila on ollut Sattasuolla 5 cm:n syvyydessä 2.2° ja 20 cm:n syvyydessä 2.5° alempi kuin Vilppulan Jaakkoinsuon ojasyvyyskoekentällä Etelä-Suomessa. Myös maan lämpeneminen alkukesällä on tapahtunut Sattasuolla hitaammin kuin Jaakkoinsuolla. Vaikka maan lämpötila on ollut Pohjois-Suomessakin korkeampi kuin juurten kasvulle välttämätön minimilämpötila (vrt. Hansen 1937, Ladefoged 1939, Reed 1939, Zgurovskaja 1963), ovat epäedulliset lämpöolot saattaneet vaikuttaa välittömästi juuriston kehitykseen mm. hidastamalla juurten kasvua. Voidaan esimerkiksi olettaa, että ohuiden juurien määrä on jäänyt Pohjois-Suomessa pienemmäksi kuin Etelä-Suomessa sen takia, että puut eivät ehdi maan alhaisen lämpötilan takia kasvattaa enempää uusia juuria niiden tilalle, jotka vuosittain kuolevat. Alle 1 mm:n vahvuiset juurethan vaihtuvat rämemännikön juuristossa Heikuraisen (1955 a) mukaan keskimäärin joka kolmas vuosi. Näyttäisi myös mahdolliselta, että maan lämpötalous on osaltaan vaikuttanut juurten määrän nopeaan vähenemiseen Sattasuon ojasyvyyskoekentällä kuivatuksen ollessa hyvin tehokas. Kun lämpöolot ovat muutenkin epäedulliset, on hyvin tehokkaasta kuivatuksesta johtuva turpeen lämpötalouden heikentyminen (vrt. Heikurainen 1954, Pessi 1958, Heikurainen ja Seppälä 1963) saattanut vaikuttaa ko. tapauksessa varsin haitallisesti juurten kasvuun.

Maan lämpötalouden välitöntä vaikutusta tärkeämpi lienee sen välillinen vaikutus juurten kasvu- ja toimintaedellytyksiin. Lämpötilallahan on huomattava merkitys myös maassa tapahtuvalle mikrobitoiminnalle ja siten juurten käytettävissä olevien ravinteiden määrälle ja niiden jakaantumiselle eri maakerroksiin. Mm. Mikola (1960) on todennut metsäkarikkeiden hajaantumisen olevan Pohjois-Suomessa selvästi hitaampaa kuin vastaavanlaisissa metsiköissä Etelä-Suomessa. Juurten pinnallisuus Pohjois-Suomessa johtuukin ehkä siitä, että niillä on maan ravinnetalouden puolesta parhaat toimeentulon edellytykset hyvin ohuessa ja lämpimimmässä pintaturpeessa, jossa ravinteiden mobilisaatio on voimakasta.

Rovaniemen Mortin koekentältä saadut tulokset osoittavat kuitenkin, että rämemännikön juuriston syvyys lisääntyy ja kokonaisjuurimäärä kasvaa kuivatuksen vaikutuksesta myös Pohjois-Suomessa. Tämän mukaan maan epäedullinen vesitalous on Pohjois-Suomessakin rämemännikön juuriston kasvu- ja toimintaedellytyksiä rajoittava minimitekijä. Maan epäsuotuisten lämpöolojen vaikutus näyttää ilmenevän siinä, että vesitalouden järjestelyn jälkeenkin juurten määrä jää Pohjois-Suomessa pienemmäksi ja juuristo pinnallisemmaksi kuin Etelä-Suomessa. Maan lämpötalous saattaa vaikuttaa myös siihen, miten juuristo reagoi hyvin tehokkaaseen kuivatukseen, niinkuin edellä on esitetty.

Edellä on tarkasteltu rämemännikön juurisuhteissa havaittuja eroja Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä sekä päätelty, että maan lämpötaloudella

on huomattava vaikutus juuriston rakenteen erilaisuuteen. Lisäselvityksen saamiseksi tähän kysymykseen on tarpeen lähemmin tutkia rämemännikön juurisuhteiden kehityksen riippuvuutta maan lämpötaloudesta.

Tutkimustulokset osoittavat, että mykoritsojen määrä kasvaa ja juuriston syvyys lisääntyy kuivatuksen johdosta. Nämä juuriston rakenteen muutokset vaikuttavat edullisesti rämemännikön ravinnonottokykyyn ja siten myös puuston kasvuun. Vesitalouden järjestelyn jälkeisen puuston kasvun voimakkuuden todettiinkin olevan selvässä korrelaatiossa juuriston syvyyden ja hyvänlaatuisten mykoritsojen esiintymisen kanssa. Mahdollisesti juuri sillä, että juuristo pystyy käyttämään hyväkseen myös pintaturvetta syvemmällä olevia ravinnevaroja, on olennainen merkitys puuston kasvulle esimerkiksi sellaisella melko ravinneköyhällä suotyypillä kuin tutkimuksen kohteena olleella tupasvillarämeellä. Pintaturpeessahan ravinteiden kulutus on hyvin suuri, sillä tässä pintakerroksessa olevia kivennäisravinteita käyttävät puiden lisäksi mm. sammalet, heinämäiset kasvit ja varvut. Niiden kasvuun saattaa Pjavtshenkon (sit. Zgurovskaja 1963) tutkimusten mukaan kulua erilaisia ravinteita 3—6 kertaa enemmän kuin puiden kasvuun. Pelkästään varpujen ilmaversojen vuotuinen kasvu voi olla soilla yli 1 m^3/ha (Sarasto 1964). Tehokasta kuivatusta käytettäessä rämemännikön ravinnonotto ei ole yksinomaan turpeen pintakerroksen varassa.

Saatujen tulosten perusteella on vaikeaa päätellä, mikä vaikutus kokonaisjuurimäärän muutoksilla on puuston kasvuun. Voimakas juurimäärän lisäys kuluttaa epäilemättä jonkin verran sitä kasvumateriaalia, joka muuten olisi tullut käytetyksi puiden maanpäällisten osien kasvuun. Kokonaisjuurimäärän runsaalla lisääntymisellä saattaa täten olla haitallinen vaikutus puuston kasvun elpymisen voimakkuuteen. Kyseinen haittavaikutus ei kuitenkaan voi olla kovin suuri, sillä uuden juurimassan muodostus hidastanee merkittävästi puuston kasvua vain silloin, kun sitä tapahtuu jatkuvasti esim. maassa vallitsevien epäedullisten kasvuolojen takia (vrt. Siren 1950, Veretennikov 1959, Zgurovskaja 1963). Juurten kokonaismäärän saavutettua tasapainotilan vesitalouden järjestelyn jälkeen, mihin näyttää kuluvan aikaa 10—20 vuotta, on juurten runsas määrä ilmeisesti pelkästään eduksi puuston kasvulle. Näin on asian laita varsinkin Pohjois-Suomessa, missä rämemännikön juuriston määrä on ilman ojitusta hyvin pieni.

Tarkasteltaessa tuloksia käytännön ojitustoiminnan kannalta voidaan todeta, että ojituksen tehokkuudella on ollut ratkaiseva vaikutus rämemännikön juurisuhteiden kehitykseen. Mitä kapeampaa sarkaa ojituksessa on käytetty, sitä voimakkaampia ovat olleet puuston kasvun kannalta edulliset juuriston muutokset, kuten mykoritsasuhteiden muuttuminen ja juuriston syveneminen. Myös ojituksen jälkeinen puuston kasvu on ollut kapeilla saroilla selvästi parempi kuin leveillä. Näiden tulosten mukaan on biologisesti edullista käyttää pientä ojaetäisyyttä rämemänniköiden ojituksessa.

6. YHDISTELMÄ

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on ollut selvittää maan vesitalouden järjestelyn vaikutusta rämemännikön juurisuhteisiin. Miten juurisuhteet muuttuvat ja mihin syvyyteen asti muutoksia tapahtuu, sekä juurisuhteiden muuttumisen riippuvuus vesitalouden järjestelystä kuluneesta ajasta, ovat olleet tärkeimpiä tutkittavista juuriston kehityksen piirteistä. Tutkimus on ulotettu koskemaan myös kysymystä, onko kuivatuksen vaikutus rämemännikön juurisuhteisiin sama vai erilainen eri ilmastoalueilla. Tämän lisäksi on tutkittu, onko juuriston rakenteessa ja puuston kasvussa vesitalouden järjestelyn johdosta ilmenevien reaktioiden välillä korrelaatiota.

Tutkimuksessa on selvitetty puiden väleihin levittäytyneiden pitkäjuurten kokonaismäärän, syvyysjakaantumisen ja paksuusjakaantumisen sekä lyhytjuurten määrän ja syvyysjakaantumisen samoin kuin mykoritsasuhteiden kehitystä. Tutkimusalueina ovat olleet metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston toimesta perustetut vesitaloudelliset koekentät Parkanossa, Vilppulassa ja Rovaniemellä.

Juuristotutkimuksissa on käytetty K a l e l a n (1949, 1954, 1955) ja H e i k u r a i s e n (1955 a, 1955 b) kehittämää menetelmää, joka osoittautui tutkimustarkoitukseen varsin sopivaksi. Selvitettäessä tämän menetelmän luotettavuutta todettiin, että juurten määrää koskevien tulosten luotettavuus on ratkaisevasti riippuvainen näytteiden lukumäärästä ja vain verraten vähän siitä, että näytteiden poikkileikkauspinta-ala pienennetään viidenteen osaan aikaisemmissa tutkimuksissa käytetystä 10 cm × 10 cm:n näytekoosta.

Suoritetuissa tutkimuksissa ilmeni yhtäpitävästi aikaisempien tutkimusten kanssa, että rämemännikön kokonaisjuurimäärä kasvaa ja juuristo syvenee kuivatuksen vaikutuksesta. Mykoritsasuhteet muuttuvat siten, että hyvänlaatuisten mykoritsojen määrä ja niiden esiintymisen syvyys lisääntyvät.

Juuriston rakenteen muutosten todettiin olevan sitä voimakkaampia, mitä tehokkaampi kuivatus on. Tässä riippuvuussuhteessa ilmeni kuitenkin seuraavia erikoispiirteitä:

— Kokonaisjuurimäärä kasvaa todennäköisesti vain tiettyyn rajaan asti sitä voimakkaammin, mitä tehokkaammin ojitus suoritetaan. Yhä tehok-

kaampi kuivatus ei enää vaikuttane juuiten kokonaismäärää lisäävästi. Tämä ojitustehon raja on ylitetty Parkanon Liesnevan tutkimusalueella 5 m:n ja 10 m:n levyisillä saroilla, joissa juuria oli yleensä vähemmän kuin 20 m:n saralla.

— Kuivatuksen tehokkuus vaikuttaa huomattavasti juuriston alarajaan. Juuriston keskimääräisen syvyysulottuvuuden kasvu jää sen sijaan verraten pieneksi hyvinkin tehokasta ojitusta käytettäessä. Tulokset osoittavat, että juuriston keskimääräinen syvyysulottuvuus lisääntyy suhteessa pohjavesipinnan samansuuruiseen alentamiseen sitä vähemmän, mitä syvemmälle mennään suon pinnasta.

— Lyhytjuurten kokonaismäärän ja syvyyden muutokset ovat johtuneet ensi sijassa siitä, että pitkäjuuria on ollut vesitalouden järjestelyn jälkeen entistä runsaammin ja syvemmissä maakerroksissa. Lyhytjuurten tiheyteen (kpl/juuri-dm) ei kuivatuksen tehokkuus ole selvästi vaikuttanut.

Tutkimuksissa todettiin myös, ettei kuivatuksen tehokkuudella ole sanottavaa vaikutusta pitkäjuurten paksuusjakaantumiseen.

Etelä-Suomessa sijainneilla tutkimusalueilla selviteltiin, mikä merkitys kuivatuksesta kuluneella ajalla on juurisuhteiden kehitykseen. Tulosten mukaan juuristo reagoi varsin hitaasti vesitalouden järjestelyyn. Juurten määrässä ja syvyydessä ei ollut tapahtunut sanottavia muutoksia kolmen kasvukauden aikana. Kaksi vuotta tämän jälkeen oli juuriston syvyys jonkin verran lisääntynyt, mutta juuriston rakenteen muutokset ilmenivät voimakkaina vasta koekentillä, joissa ojituksesta oli kulunut aikaa 8—9 vuotta. Tulokset viittaavat lisäksi siihen, ettei juuriston rakenteessa tapahdu merkittäviä kuivatuksesta johtuvia muutoksia sen jälkeen, kun ojituksen ikä on yli 20 vuotta.

Kuivatuksen vaikutus rämemännikön juurisuhteisiin oli samansuuntainen Etelä- ja Pohjois-Suomessa. Kummallakin ilmastoalueella todettiin juurten kokonaismäärän kasvavan ja juuriston syvyyden lisääntyvän vesitalouden järjestelyn jälkeen. Juuriston suhtautuminen hyvin tehokkaaseen kuivatukseen näytti kuitenkin olevan ensimmäisten kolmen kasvukauden aikana erilainen Etelä- ja Pohjois-Suomessa. Pohjois-Suomessa kokonaisjuurimäärä oli vähentynyt tänä aikana, kun taas Etelä-Suomessa juurten määrä ei ollut mainittavasti muuttunut. Saadut tulokset osoittavat myös, että rämemännikön kokonaisjuurimäärä oli Pohjois-Suomessa pienempi, ja juuristo oli pinnallisempi kuin vastaavanlaisessa metsikössä Etelä-Suomessa.

Tutkimustulosten mukaan rämemännikön kasvun elpyminen ojituksen vaikutuksesta on ollut sitä voimakkaampaa, mitä tehokkaammin ojitus on suoritettu. Kasvun elpymisen voimakkuuden todettiin olevan vuorosuhteessa juuriston syvenemisen ja hyvänlaatuisten mykoritsojen esiintymisen kanssa. Juurten kokonaismäärän muutosten ja puuston kasvun välillä ei sen sijaan ollut selvää korrelaatiota.

Tuloksia tarkasteltaessa on päätelty, että kuivatuksen vaikutus rämemännikön juuriston rakenteeseen on ensi sijassa välillinen ja että erityisesti maan ravinnetaloudella ja siinä tapahtuvilla muutoksilla saattaa olla keskeinen merkitys juurisuhteiden muuttumiseen. Edelleen on esitetty, että maan lämpötalouden erilaisuus on todennäköisesti eräs tärkeimmistä syistä juuriston rakenteessa todettuun eroon Etelä- ja Pohjois-Suomessa sijainneiden tutkimusalueiden välillä.

Kirjallisuus — *References*

Aaltonen, V. T. 1920. Über die Ausbreitung und den Reichtum der Baumwurzeln in den Heidewäldern Lapplands. Acta Forest. Fenn. 14:1.

—»— 1923. Über die räumliche Ordnung der Pflanzen auf dem Felde und im Walde. Eine botanisch-bodenwissenschaftliche Studie. Acta Forest. Fenn. 25:6.

Bergemann, I. 1955. Die Mykorrhizen-Ausbildung einiger Koniferen-Arten in verschiedenen Böden. Zeitschr.f. Weltforstw. 18, ss. 184—195.

Bergman, H. F. 1959. Oxygen deficiency as a cause of disease in plants. Bot. Review 25:3, ss. 417—485.

Binns, W. O. 1962. Some aspects of peat as a substrate for tree growth. Irish Forestry XIX:1, ss. 32—55.

Björkman, E. 1941. Mykorrhizans utbildning och frekvens hos skogsträd på askgödslade och ogödslade delar av dikad myr. Referat: Die Ausbildung und Frequenz der Mykorrhiza in mit Asche gedüngten und ungedüngten Teilen von entwässertem Moor. Medd.fr. Stat. Skogsförsöksanst. 32, ss. 255—296.

—»— 1942. Über die Bedingungen der Mykorrhizabildung bei Kiefer und Fichte. Symb. Bot. Upsal. 6:2.

Burke, W. 1961. Drainage investigation on bogland. The effect of drain spacing on ground water levels. Irish Jour. Agric. Research I:1, ss. 31—34.

Dittmar, O. 1953. Eine mathematisch-statistische Auswertung zweier Düngungsversuchsreihen auf armen Talsanden des nordostdeutschen Diluviums. Archiv f. Forstwesen 2, ss. 552—586.

Eggelsmann, R. 1957. Zur Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Bodenfeuchte und oberflächennahem Grundwasser. Wasserwirtschaft 47, ss. 283—287.

Ekström, G. 1938. Preliminärt nordiskt förslag till jordvattnets terminologi. Nord. Jordbrugsforskn. 1938, ss. 299—313.

Engler, A. 1903. Untersuchungen über das Wurzelwachstum der Holzarten. Mitt. Schweiz. Centralanst. forstl. Versuchsw. 7, ss. 247—317.

Fraser, A. I. 1962. The soil and roots as factors in tree stability. Forestry XXXV:2, ss. 117—127.

Grosskopf, W. 1950. Bestimmung der charakteristischen Feinwurzel-Intensitäten in ungünstigen Waldbodenprofilen und ihre oekologische Auswertung. Mitt. Bundesanst. Forst. u. Holzwirtschaft 11, ss. 1—19.

Hald, A. 1955. Statistical theory with engineering applications. New York.

Hansen, T. S. 1937. Ecological changes due to thinning jack pine. Univ. of Minnes. Agric. Exp. Sta., Techn. Bull. 40.

Heikurainen, L. 1954. Havaintoja metsäojituksen vaikutuksesta turpeen lämpötalouteen. Summary: Observations on the effect of drainage for forestry purposes upon the warmth conditions of peat. Metsätal. Aikakausl. 1954, ss. 31—34.

Heikurainen, L. 1955 a. Über Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände auf Moorböden im Laufe des Jahres. Selostus: Rämemännikön juuriston vuodenajoittaisista muutoksista. Acta Forest. Fenn. 65:2.
—»— 1955 b. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen. Referat: Der Wurzelaufbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung. Acta Forest. Fenn. 65:3.
—»— 1957 a. Metsäojien syvyyden ja pintaleveyden muuttuminen sekä ojien kunnon säilyminen. Summary: Changes in depth and top width of forest ditches and the maintaining of their repair. Acta Forest. Fenn. 65:5.
—»— 1957 b. Metsäojien syvyys ja ojituksen tiheys. Summary: Depth and spacing of forest ditches. Metsätal. Aikakausl. 1957, ss. 188—191 ja 233—238.
—»— 1958. Sekametsiköiden juuristoista ojitetulla suolla. Referat: Der Wurzelaufbau in Mischwäldern auf entwässerten Moorböden. Acta Forest. Fenn. 67:2.
—»— 1959. Tutkimus metsäojitusalueiden tilasta ja puustosta. Referat: Über waldbaulich entwässerte Flächen und ihre Waldbestände in Finnland. Acta Forest. Fenn. 69:1.
—»— 1960. Metsäojitus ja sen perusteet. Porvoo—Helsinki.
—»— 1961. Über den Aufbau des Wurzelwerkes von Beständen auf entwässerten Mooren Finnlands. IUFRO 13 Kongress, Berichte 2 Teil, Band 1, Wien 1961.
—»— 1963. On using ground water table fluctuations for measuring evapotranspiration. Seloste: Pohjavesipinnan vaihteluista haihdunnan mittaamisessa. Acta Forest. Fenn. 76:5.
—»— 1964. Ajatuksia turvemaiden vesitaloudesta. Abstract: Thoughts on the water economy of peat lands. Suo 1964, ss. 37—43.
—»— ja Huikari, O. 1952. Turvelajin mikroskooppinen määrittäminen. Summary: The microscopic determination of peat types. Comm. Inst. Forest. Fenn. 40:5.
—»— ja Kuusela, K. 1962. Revival of the tree growth after drainage and its dependence on the tree size and age. Comm. Inst. Forest. Fenn. 55:8.
—»— ja Seppälä, K. 1963. Kuivatuksen tehokkuus ja turpeen lämpötalous. Summary: The effect of drainage degree on temperature conditions of peat. Acta Forest. Fenn. 76:4.
—»— Päivänen, J. ja Sarasto, J. 1964. Ground water table and water content in peat soil. Acta Forest. Fenn. 77:1.
Heinonen, R. 1954. Multakerroksen kosteussuhteista Suomen maalajeissa. Summary: Moisture conditions in finnish topsoils. Agrogeol. julk. 62.
Hesselman, H. 1910 a. Studier öfver de norrländska tallhedarnas föryngringsvillkor. Resumé: Studien über die Verjüngungsbedingungen der norrländischen Kiefernheiden. Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. 7, ss. 25—68.
—»— 1910 b. Om vattnets syrehalt och dess inverkan på skogsmarkens försumpning och skogens växtlighet. Resumé: Über den Sauerstoffgehalt des Bodenwassers und dessen Einwirkung auf die Versumpfung des Bodens und das Wachstum des Waldes. Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. 7, ss. 91—126.
Holmen, H. 1964. Forest ecological studies on drained peat land in the province of Uppland, Sweden. Parts I—III. Studia Forest. Suecica 16.
Holstener—Jørgensen, H. 1956. Nedbøren og grundvandet. Dansk Skovfor. Tidskr. 41, ss. 401—420.
—»— 1958. Jordbundsfysiske undersøgelser i danske bøgebevoksninger. Summary: Physical soil-investigations in danish beech-stands. Forstl. Forsøgsv. Danm. 25, ss. 93—224.

Holstener—Jørgensen, H. 1959. Undersøgelser af rodsystemer hos eg, bøg og rødgran på grundvandpåvirket moraenejord med et bidrag til belysning af bevoksningernes vandforbrug. Summary: Investigations of root systems of oak, beech and Norway spruce on groundwater-affected moraine soils with a contribution to elucidation of evapotranspiration of stands. Forstl. Forsøgsv. Danm. 25, ss. 225—290.

—»— 1961. Undersøgelse af traearts og aldersindflydelsen på grundvandstanden i skovtraebevoksninger på Bregentved. Summary: An investigation of the influences of various tree species and the ages of the stands on the level of the groundwater-table in forest tree stands at Bregentved. Forstl. Forsøgsv. Danm. 27, ss. 235—480.

Huikari, O. 1953 a. Puiden kasvua ehkäisevistä tekijöistä luonnontilaisilla soilla. Summary: Factors preventing the growth of trees on swamps in natural state. Metsätal. Aikakausl. 1953, ss. 226—230.

—»— 1953 b. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön. Summary: Studies on the effect of drainage and ash fertilization upon the microbes of some swamps. Comm. Inst. Forest. Fenn. 42:2.

—»— 1954. Experiments on the effect of anaerobic media upon birch, pine and spruce seedlings. Selostus: Kokeita kasvualustan anaerobisuuden vaikutuksesta koivun, männyn ja kuusen taimiin. Comm. Inst. Forest. Fenn. 42:5.

—»— 1959 a. On the effect of anaerobic media upon the roots of birch, pine and spruce seedlings. Selostus: Kasvualustan anaerobisuuden vaikutuksesta koivun, männyn ja kuusen taimien juuristoihin. Comm. Inst. Forest. Fenn. 50:9.

—»— 1959 b. Kenttämittaustuloksia turpeiden vedenläpäisevyydestä. Referat: Feldmessungsergebnisse über die Wasserdurchlässigkeit von Torfen. Comm. Inst. Forest. Fenn. 51:1.

—»— 1959 c. Metsäojitettujen turvemaiden vesitaloudesta. Referat: Über den Wasserhaushalt waldentwässerter Torfböden. Comm. Inst. Forest. Fenn. 51:2.

—»— 1960. Metsäojitettujen turvemaiden vesitaloudesta erikoisesti sarkaleveyden ja ojasyvyyden kannalta. Summary: On the hydrology of forest-drained peat lands. Metsätal. Aikakausl. 1960, ss. 228—229 ja 232.

—»— 1961. Roudasta puiden kasvutekijänä. Zusammenfassung: Über den Bodenfrost als Wachstumsfaktor. Terra 1961, ss. 166—174.

—»— 1964. Metsänhoidon perusteista. Summary: On the principles of forestry. Metsätal. Aikakausl. 1964, ss. 280—282.

—»— 1965. Importance of soil temperature, height of water table and microclimate as growth factors of pine, spruce and birch. Moniste metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastossa.

Ijjasz, E. L. 1938. Grundwasser und Baumvegetation unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in der ungarischen Tiefebene. Erdészeti Kisérletek 40, ss. 159—269 ja 41, ss. 1—107.

Ilvessalo, Y. 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. Helsinki.

Isotalo, A. 1951. Studies on the ecology and physiology of cellulose-decomposing bacteria in raised bogs. Acta Agralia Fennica 74.

Jeffers, J. N. R. 1960. Experimental design and analysis in forest research. Stockholm—Uppsala.

Kaila, A. 1956. Determination of the degree of humification in peat samples. Selostus: Turpeen maatumisasteen määrittämisestä. Maatal. Aikakausk. 28:1.
—»— ja Kivekäs, J. 1956. Distribution of extractable calcium, magnesium, potassium and sodium in various depths of some virgin peat soils. Selostus: Uuttuvan kalsiumin, magnesiumin, kaliumin ja natriumin määrästä eräitten luonnontilaisten soitten eri syvyyksissä. Maatal. Aikakausk. 28:4.
Kalela, E. K. 1946. Rämemänniköiden uudistamisen perusteista. Metsätal. Aikakausl. 1946, ss. 5—11.
—»— 1949. Männiköiden ja kuusikoiden juurisuhteista. I. Summary: On the horizontal roots in pine and spruce stand. I. Acta Forest. Fenn. 57:2.
—»— 1954. Mäntysiemenpuiden ja -puustojen juurisuhteista. Referat: Über die Wurzelverhältnisse der Kiefernsamenbäume und -baumbestände. Acta Forest. Fenn. 61:28.
—»— 1955. Über die Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände im Laufe der Vegetationsperiode. Selostus: Männikön juurisuhteiden kasvukautisesta vaihtelusta. Acta Forest. Fenn. 65:1.
Kivinen, E. 1948. Suotiede. Porvoo.
Kokkonen, P. 1923. Beobachtungen über das Wurzelsystem der Kiefer in Moorböden. Acta Forest. Fenn. 25:11.
Ladefoged, K. 1938. Udhugningens indflydelse paa traeroddernes vaekst. Dansk Skovfor. Tidskr. 23, ss. 227—238.
—»— 1939. Untersuchungen über die Periodizität im Ausbruch und Längenwachstum der Wurzeln bei einigen unserer gewöhnlichsten Waldbäumen. Kopenhagen.
Laing, E. V. 1932. Studies on tree roots. Forestry Commission, Bull. 13.
Laitakari, E. 1927. Männyn juuristo. Morfologinen tutkimus. Summary: The root system of pine (Pinus silvestris). A morphological investigation. Acta Forest. Fenn. 33:1.
—»— 1934. Koivun juuristo. Summary: The root system of birch (Betula verrucosa and odorata). Acta Forest. Fenn. 41:2.
Linkola, K. ja Tiirikka, A. 1936. Über Wurzelsysteme und Wurzelausbreitung der Wiesenpflanzen auf verschiedenen Wiesenstandorten. Ann. Bot. Soc. Vanamo 6.
Lukkala, O. J. 1929. Tutkimuksia soiden metsätaloudellisesta ojituskelpoisuudesta erityisesti kuivatuksen tehokkuutta silmälläpitäen. Referat: Untersuchungen über die waldwirtschaftliche Entwässerungsfähigkeit der Moore mit besonderer Rücksicht auf den Trocknungseffekt. Comm. Inst. Forest. Fenn. 15:1.
—»— 1937. Nälkävuosien suonkuivausten tuloksia. Referat: Ergebnisse der in den Hungerjahren angelegten Moorentwässerungen. Comm. Inst. Forest. Fenn. 24:3.
—»— 1946. Korpimetsien luontainen uudistaminen. Referat: Die natürliche Verjüngung der Bruchwälder. Comm. Inst. Forest. Fenn. 34:3.
—»— 1951. Kokemuksia Jaakkoinsuon koeojitusalueelta. Summary: Experiences from Jaakkoinsuo experimental drainage area. Comm. Inst. Forest. Fenn. 39:6.
Lumiala, O. V. 1944. Über die Beziehung einiger Moorpflanzen zu der Grundwasserhöhe. Bull. Comm. Geol. Finl. 132.
Malmström, C. 1923. Degerö stormyr. En botanisk, hydrologisk och utvecklingshistorisk undersökning över ett nordsvenskt myrkomplex. Resumé: Degerö stormyr. Eine botanische, hydrologische und entwicklungsgeschichtliche Untersuchung eines nordschwedischen Moorkomplexes. Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. 20, ss. 1—206.

Malmström, C. 1931. Om faran för skogsmarkens försumpning i Norrland. Referat: Über die Gefahr der Versumpfung des Waldbodens in Norrland. Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. 26, ss. 1—162.

—»— 1935. Om näringsförhållandenas betydelse för torvmarkers skogsproduktiva förmåga. En redogörelse för några belysande gödslingsförsök, utförda å Robertsfors bruk i Vesterbotten på initiativ av jägmästare V. Ålund. Referat: Über die Bedeutung der Nährstoffbedingungen für das waldproduktive Vermögen der Torfböden. Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. 28, ss. 571—650.

Mc Quilkin, W. E. 1935. Root development of pitch pine with some comparative observations on shortleaf pine. Jour. Agr. Research 51, ss. 983—1016.

Melin, E. 1917. Studier över de norrländska myrmarkernas vegetation. Norrländskt Handbibliotek 7. Uppsala—Stockholm.

—»— 1923. Experimentelle Untersuchungen über die Konstitution und Ökologie der Mykorrhizen von Pinus silvestris L. und Picea Abies (L.) Karst. Mykologische Untersuchungen und Berichte 2, ss. 73—331.

—»— 1927. Studier över barrträdplantans utveckling i råhumus. II. Mykorrhizans utbildning i olika råhumusformer. Referat: Studien über die Entwicklung der Nadelbaumpflanze in Rohhumus. II. Die Ausbildung der Mykorrhiza bei der Kiefernpflanze in verschiedenen Rohhumusformen. Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. 23, ss. 433—494.

Meshechok, B. 1960. Om grøfteavstand og grøftedybde ved myrgrøfting. Norsk Skogbruk 1960, ss. 373—381.

Metsävainio, K. 1931. Untersuchungen über das Wurzelsystem der Moorpflanzen. Selostus: Tutkimuksia suokasvien juuristoista. Ann. Bot. Soc. Vanamo 1:1.

Mikola, P. 1960. Comparative experiment on decomposition rates of forest litter in southern and northern Finland. Oikos XI:1, ss. 161—166.

—»— ja Persidsky, J. D. 1951. Detection of mycorrhizal infection in early stages of seedling development. State Cons. Dept. & Soils. Dept., Coll. Agr. Madison, Wis., Techn. Not. 39.

—»— ja Laiho, O. 1962. Mycorrhizal relations in the raw humus layer of northern spruce forests. Comm. Inst. Forest. Fenn. 55:18.

Multamäki, S. E. 1916. Nuorennoksien elpymisestä suomailla. Metsätal. Aikakausk. 53, ss. 59—69.

—»— 1923. Tutkimuksia ojitettujen soiden metsänkasvusta. Referat: Untersuchungen über das Waldwachstum entwässerter Torfböden. Acta Forest. Fenn. 27:1.

—»— 1936. Über den Grundwasserstand in versumpften Waldböden vor und nach der Entwässerung. V hydrologische Konferenz der baltischen Staaten, Mitt. 4 A, Finnland 1936.

Nyström, E. ja Osvald, H. 1918. Grundvattenståndets inverkan på slåttervallar på torfjord. Sv. Mosskult. Fören. Tidskr. 32, ss. 42—114.

Orlov, A. J. 1958. Resim kisloroda v potsvennogruntovich vodach nekotorich tipov lesnyich Vologodskoi oblasti. Summary: Oxygen behaviour in soil-ground waters of some forest soil types of the Vologda region. Potsvovedenie 1958, N:o 12.

—»— 1960. Vlijanie potsvennich faktorov na osnovnyje osobennosti nekotorich tipov ljesa jusnoi taiga. Summary: The influence of soil factors upon the basis pecularity on some types of woods in the south taiga area. Bjull. Moskovskogo Obz. Isp. Prirody 65 (3).

Osvald, H. 1918. Undersökningar öfver rotsystemens utveckling. Sv. Mosskult. Fören. Tidskr. 29, ss. 78—114.

Paarlahti, K. 1961. Tutkimuksia eräiden luonnontilaisten ja metsäojitettujen soiden pieneliöstöistä ja niiden ympäristötekijöistä. Konekirjoite Helsingin yliopiston suometsätieteen laitoksessa.

—»— 1965. Observations on the effect of the ground water level on the decomposition of cellulose in peat of pine and spruce swamps. Moniste metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastossa.

—»— ja Vartiovaara, U. 1958. Havaintoja luonnontilaisten ja metsäojitettujen soiden pieneliöstöistä. Summary: Observations concerning the microbial populations in virgin and drained bogs. Comm. Inst. Forest. Fenn. 50:4.

Paavilainen, E. 1963 a. Tutkimuksia sarkaleveyden vaikutuksesta rämemännikön juuristoon. Konekirjoite Helsingin yliopiston suometsätieteen laitoksessa.

—»— 1963 b. Turpeen vesipitoisuudesta ja pohjavesipinnasta. Summary: On water content of peat and ground water level. Suo 1963, ss. 8—9.

Parker, R. E. 1962. The problems of peatland forestry. Irish Forestry XIX:1, ss. 4—14.

Pessi, Y. 1958. On the influence of bog draining upon thermal conditions in the soil and in the air near the ground. Acta Agric. Scandinavica VIII/4.

Pjavtshenko, N. I. ja Sabo, E. D. 1962. Puustojen vaatimukset kasvualustan vesitalouden suhteen. Suomennos metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastossa.

Polansky, B. 1936. Menge und Lagerung der Baumwurzeln im Waldboden. IV Kongress des Int. Verb. Forstl. Forschungsanst., Ungarn 1936.

v. Post, L. 1922. Sveriges Geologiska Undersöknings torvinventering och några av dess hittils vunna resultat. Sv. Mosskult. Fören. Tidskr. 37, ss. 1—27.

Reed, J. E. 1939. Root and shoot growth of shortleaf and loblolly pines in relation to certain environmental conditions. Duke Univ. School of Forestry, Bull. 4.

Richards, L. A. 1941. Uptake and retention of water by soil as determined by distance to a water table. Jour. Amer. Soc. Agr. 33, ss. 778—786.

Rigg, G. B. ja Harrar, E. S. 1931. The root systems of trees growing in sphagnum. Amer. Jour. Bot. 18.

Rode, A. A. 1959. Das Wasser im Boden. Berlin.

Romell, L-G. 1922. Luftväxlingen i marken som ekologisk faktor. Referat: Die Bodenventilation als ökologischer Faktor. Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. 19, ss. 125—359.

Russell, M. B. 1952. Soil aeration and plant growth. Agronomy Monograph 2. New York.

Sarasto, J. 1960. Turpeen maatuneisuuden määrittämisestä. V. Postin maatumisasteen ja Pjavtshenkon maatumisprosentin vertailu. Referat: Zur Bestimmung der Zersetzung des Torfes. Ein Vergleich des Zersetzungsgrades v. Posts mit dem Zersetzungsprozent Pjavtshenkos. Acta Forest. Fenn. 71:2.

—»— 1964. Tutkimuksia ojitettujen soiden varvustosta ja sen vaikutuksesta männyn kylvöihin. Summary: Investigations on dwarf shrub vegetation on drained swamps and its influence on sowing of pine. Suo 1964, ss. 61—68.

Sirén, G. 1950. Alikasvoskuusten biologiaa. Summary: On the biology of undergrown spruce. Acta Forest. Fenn. 58:2.

—»— ja Bergman, F. 1951. Svamparna och våra skogsträd. Skogsbruket 1951, ss. 39—43.

Tamm, O. 1925. Grundvattenrörelser och försumpningsprocesser, belysta genom bestämningar av grundvattnets syrehalt i nordsvenska moräner. Resümee: Grundwasserbewegungen und Versumpfungsprozesse, durch Sauerstoffanalysen des Grundwassers nordschwedischer Moränen erläutert. Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. 22, ss. 1—44.

Troedsson, T. 1955. Vattnet i skogsmarken. Studier med hänsyn särskilt till ytvattnets, sjunkvattnets och grundvattnets uppkomst och sammansättning. Referat: Das Wasser des Waldbodens. Studien mit besonderer Berücksichtigung der Entstehung und der chemischen Eigenschaften des Oberflächenwassers, des Sickerwassers und des Grundwassers. Kungl. Skogshögskolans Skrifter 20.

Vahtera, E. 1955. Metsänkasvatusta varten ojitettujen soiden ravinnepitoisuuksista. Referat: Über die Nährstoffgehalte der für Walderziehung entwässerten Moore. Comm. Inst. Forest. Fenn. 45:4.

Veretennikov, A. V. K. 1959. K dynamike protsessov otmiranija i regeneratsii kornevoi systemyi sosnyi pri vremennom izbyitke vlagiv pot. Ljesnoi šurnal 1959, N:o 1.

Wäre, M. 1947. Maan vesisuhteista ja viljelyskasvien sadoista Maasojan vesitaloudellisella koekentällä vuosina 1939—1944. Referat: Über die Wasserverhältnisse des Bodens und die Erträge von Kulturpflanzen auf wasserwirtschaftlichem Versuchsfeld Maasoja in den Jahren 1939—1944. Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia 5.

Zgurovskaja, L. N. 1963. Puukasvien juuriston rakenne ja kasvu erilaisilla suotyypeillä. Suomennos metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastossa.

Zunker, F. 1930. Das Verhalten des Bodens zum Wasser. Handbuch der Bodenlehre 6, ss. 66—220. Berlin.

ON THE EFFECT OF DRAINAGE ON ROOT SYSTEMS OF SCOTS PINE ON PEAT SOILS

Summary

1. Introduction

According to previous investigations (Melin 1917, Kokkonen 1923, Multamäki 1923, Laitakari 1927, Malmström 1935, Björkman 1941, Heikurainen 1955 b), we know that the root systems of trees growing in Northern European swamps penetrate the soil deeper after drainage; furthermore, both the total quantity of roots and the ratio of true mycorrhizae to the total number of short roots increase.

None of the above studies, however, has thrown any light on the relationships between the effectiveness of drainage and the development of tree root systems in peat soils. Nor has there been any enquiry into whether the structure and development of tree root systems in Finnish swamps vary regionally according to macroclimate. These are essential questions to answer if it is to be determined which methods of ditching lead to the best results in different parts of Finland.

The principal object of the present study was to clarify the effect of drainage of varying intensity on the development of root systems in pine stands growing on peat land. Particular attention was given to the following questions:

— How do the root systems change and to what depth do the changes reach?

— How are the changes in the root systems related to the time elapsed after drainage?

— Are any observed changes in the root systems correlated with variations in stand increment?

Studies also were carried out to determine the effects of drainage on pine root systems in swamps in different climatic regions.

In this study, as in several earlier investigations (Multamäki 1936, Lukkala 1946, Heikurainen 1955 b, Huikari 1959 c, Meshechok 1960, Holstener-Jørgensen 1961), the drainage effect achieved was studied on the basis of measurements of the distance between the ground surface and the level of the ground water table. The depth to ground water table indicates the potential growing space generally available to roots of coniferous trees; thus it is a rather good soil hydrology characteristic in investigations concerning the effect of drainage on root systems of pine stands in swamps. Also the water content and the air space of the topmost peat layers which, both directly and indirectly, influence the qualifications for growth and the functioning of roots, are correlated with the ground water level (e.g., Wäre 1947, Eggelsmann 1957, Paavilainen 1963 b, Heikurainen *et al.* 1964).

The ground water level has also been considered a good basis for determining the most profitable ditching methods for stimulating stand growth (Meshechok 1960, Pjavtshenko and Sabo 1962, Heikurainen *et al.* 1964). However, in the hydrology of swamps ditching also causes other important changes than the mere lowering of the ground water table; and it has been observed, for instance, that the fluctuations in the ground water level are considerably great in different years and seasons (e.g., Lukkala 1946, Heikurainen 1963). For this reason, study of optimum drainage necessitates employment of field experiments in which different ditch spacings and ditch depths are used to support the conclusions drawn on the basis of the ground water level.

Within the limits of the questions framed above, the objective of this investigation is to explore the effects of drainage on the root systems of pine stands on peat land determining whether any correlation exists between the lowering of the ground water table and variations in the extent and the development of the root systems. The investigation was carried out in part in experimental areas which had been ditched at different strip widths; this provision made it possible to study the results also from the standpoint of practical ditching technique.

2. Methods of Research

Root Systems

It is virtually impossible to study the finest roots by methods used earlier, such as digging them up and making drawings of them. This is especially so when the root systems of entire stands are being investigated (cf. Kalela 1949). Kalela (ibid.), therefore, developed a method by which roots are studied after being separated from soil samples of a given size. This method has been further developed by Heikurainen (1955 a, 1955 b) for the study of roots of stands growing on swamps. In this investigation, the method as modified by Heikurainen (1955 a, 1955 b) was used.

A part of the samples measured 10 cm × 10 cm in cross-section. Since 1963, however, samples of 4 cm × 5 cm were taken. In the laboratory the samples were rinsed in water and the living pine roots were separated and examined in detail under a stereomicroscope. The roots were divided into three classes based on thickness: under 1 mm, 1—2 mm, and over 2 mm. Then they were measured for length. In the samples referred to below, in Section 4, the short roots were counted, each tip being counted separately.

Mycorrhizal relations were mainly studied stereo-microscopically from the external appearance of the short roots. Since the distinction between the different types of mycorrhizae presented in the literature (Melin 1917, 1923, 1927, Björkman 1941, 1942) is somewhat uncertain when based solely on the external appearance of short roots (cf. Mikola and Laiho 1962), we kept a separate count only of the number of »good» mycorrhizae, which differ quite distinctly from other short roots. In this study, »good» mycorrhizae are taken to be ramified or unramified, light-coloured, fairly-thick, short roots which can be recognized as mycorrhizae even with the naked eye. Thus they correspond to the short roots referred to as »good A mycorrhizae» by Mikola and Laiho (1962). The mycorrhizal relations were further studied by means of paraffin sections. Slides were prepared according to the method developed by Mikola and Persidsky (1951).

In examining vertical root distribution, the mean root penetration is used here to describe the root system depths. This is simply the arithmetic mean of

all the root depths of individual samples in the sample plots. The lower limit of the deepest soil layer in which living pine roots were encountered in at least one sample per plot was regarded as the lower limit of the root system.

An investigation into the accuracy of the method presented above showed that the number of samples had a decisive effect on the statistical reliability of the results (Fig. 1. p. 15), but the size of the samples had very little. A comparison with the data given in Table 1 (p. 16) showed that the standard error in average root amounts was much the same for 10 samples measuring 10 cm × 10 cm in cross-section as it was for 13 samples of 4 cm × 5 cm size.

Further reliability test showed that the various laboratory procedures probably had no effect on the comparability of the results. The samples were also taken as simultaneously as possible to avoid discrepancies due to structural changes which Kalela (1955) and Heikurainen (1955 a) have emphasized as occuring in the root systems during the growing season.

Other Investigations

In this study, ground water level refers to the distance measured between the ground surface and the static water level in open holes of 100 sq. cm cross-sectional area, dug in the peat with a special auger, and to a depth of one metre. This method has been used by Huikari (1959 c), among others. The ground water observations for each growing season were made every three days from June through August in order to even out variations caused by weather conditions.

The swamp types on the sample plots were determined by using the terminology of Heikurainen (1960). To determine the peat type and degree of humification, v. Post's (1922) scale was used. The peat types were also determined by a microscopical method described by Heikurainen and Huikari (1952). In the Liesneva experimental area, the degree of humification was further ascertained by measuring the volume weight of the peat, this being distinctly correlated to the degree of humification (cf. Kivinen 1948, Kaila 1956, Sarasto 1960).

For the study of relationships between the development of the root systems and stand increment, the age, cubic volume, number of trees, and their height and diameter growth were all measured. The growth of the trees was further studied by a banding method as used by Huikari (1961, 1965).

3. Material

Ditch-Depth Experimental Areas

One part of the investigations concerning the reaction of pine root systems to hydrological changes in the site was made in ditch-depth experimental areas at Jaakkoinsuo in South-Finland and Sattasuo in North-Finland (Fig. 2, p. 23). Water conditions on different sample plots were varied by regulating the water level in the ditches surrounding them. In both of the experimental areas the regulated levels were 10, 30, 50, and 70 cm below the ground surface. Where the regulated level was 10 cm, the distance between the ground water table and the ground surface was roughly the same after regulation as it had been during rainy periods before regulation. At the other regulated levels, the ground water level was lower than before water regulation. Data on Jaakkoinsuo and Sattasuo experimental areas (vegetation, growing stock, sampling points of root studies, etc.) are given in Tables 2—6 and Figs. 3—5 (pp. 23—29).

Since the structure of the root systems at Sattasuo was almost similar in series A and B (both having the same regulated levels), the root system data from these series have been combined.

Strip-Width Experimental Areas

These study areas were situated at Liesneva and Jaakkoinsuo in South-Finland and at Mortti near Rovaniemi in North-Finland (Fig. 2, p. 23).

At Liesneva, three experimental fields employing different strip widths had been established in 1954—55 (cf. Huikari 1959 c). The study was conducted on three sections of the experimental area as follows (Fig. 6, p. 31):

1. Sample plots I—VII, established on strips of varying widths on the open-ditch experimental field.
2. Lines A-C transversing the covered-ditch field.
3. Plots 1—10 located in the middle of strips of varying widths on the covered-ditch experimental field.

Data on Liesneva experimental area are given in Tables 7—8, text tables, and Figs. 7—9 (pp. 32—38).

At Jaakkoinsuo the distance between ditches also varied. Fig. 3 (p. 23) shows the location of sample plots. In the experimental area at Mortti, established in 1956, there were four sample plots each of 5 m × 40 m in size (Fig. 10, p. 40). Data of these experimental areas are given on pages 38—40.

4. Results

Total Quantity of Roots

According to the results obtained (Tables, 9—11, pp. 43—47, the text table on p. 47, and Fig. 11, p. 46), the total amount of long roots in pine stands in swamps increases due to drainage, confirming the conclusion reached in earlier investigations by Multamäki (1923), Laitakari (1927) and Heikurainen (1955 b).

In general, the total amount of roots increases with increasing intensity of drainage. Up to a certain point, the vigor of root increment is directly related to the degree of drainage effectiveness. When this limit is exceeded, no additional increase in the extent of root systems seems to occur. This limit was apparently exceeded at Liesneva at both the 5 m and the 10 m ditch spacings in which total lengths of roots usually were smaller than at the 20 m spacing. It seems possible to conclude from these observations that very effective drainage improves the growth conditions so strongly that the trees can exist with measureably smaller root systems. This conclusion agrees with the findings on mineral soils where the root quantities calculated per cubic meter of the growing stock are smaller the better the site (Aaltonen 1920, 1923, Laitakari 1927, Kalela 1949).

The findings of the Jaakkoinsuo area indicate that changes in the amount of roots take place rather slowly. Even an effective drainage has not evidently had any influence on the quantity of roots during a period of almost five growing seasons (Table 9, p. 43). An increase in the total amount of roots could be clearly observed in the Liesneva area (Table 10, p. 45), which had already been drained for about ten years. Furthermore, on the basis of investigations carried out in the strip-width experimental field at Jaakkoinsuo (Table 11, p. 47), one can conclude that the first 10—20 years after

drainage probably are of decisive importance for the increase in the total amount of roots. After this period, the amount of roots probably increases rather slowly with the increasing time elapsed after drainage.

According to the results obtained in the Sattasuo area at Kivalo and the Mortti area at Rovaniemi (Table 9, p. 43 and the text table on p. 47), the total amount of roots in pine stands in swamps in North-Finland increases in response to drainage in much the same way as found in South-Finland. However, the comparison of results from these two distinctly different climatic regions is not completely reliable; for one thing, the experimental areas differ from each other with respect to their swamp type, peat class, and growing stock. Nevertheless, the development of root amounts in strips of different widths has been similar in both regions during a period of almost ten years after the initial ditching. In brief, the total quantity of roots increased as strip width decreased from 80 m to 20 m. Beyond this point, though drainage was noticeably more effective, no additional increase in the total amount of roots was observed.

When pine stands in swamps equal in volume and stem number are compared, it seems evident that the total quantity of roots is smaller in North-Finland than in South-Finland.

Depth Distribution of Roots

The results of this study indicate (Tables 12—17, pp. 51—57, the text table on page 55, and Figs. 12, p. 56, 13, p. 57) that the depth of root systems of pine stands in swamps increases as a consequence of drainage — a conclusion that is in good concordance with earlier investigations (Kokkonen 1923, Multamäki 1927, Laitakari 1927, Heikurainen 1955 b).

The increase in depth of the root systems seems clearly correlated with the effectiveness of drainage. The correlation, obviously, is positive, the lower limit of root systems being located deeper as the distance of the ground water table from the ground surface increases (the text table on page 55, Fig. 12, p. 56). Individual roots near the ditches can follow the ground water table relatively deep into the peat. However, increasingly effective drainage has a negligible effect on the mean root penetration (Fig. 13, p. 57), hence, beyond a limit on drainage intensity, the relation to root depth is no longer linear. On the basis of results obtained, the conclusion can be drawn that a lowering of ground water table does not cause a corresponding increase in the root system depth. The root systems of pine stands in swamps are able to utilize, even when long periods of time are in question, only a part of the potential growing space between the ground surface and the ground water table (Table 17, p. 57). In spite of effective drainage, the main part of the roots are located at 0—10 cm depth (Tables 14, p. 53 and 15, p. 54). Heikurainen (1955 b), too, emphasizes the very superficial nature of root systems of pine stands in swamps.

In Jaakkoinsuo ditch-depth experimental fields drainage has not had any clear effect on the depth distribution of the roots during a period of three years (Tables 12, p. 51 and 13, p. 52). After slightly more than four years, the depth of the root systems has increased and the deepening of the lower limit of the root systems has been greatest in a sample plot where the drainage has been the most effective. It is worth noticing that the depth of the root systems has increased even in a sample plot where the distance of the ground water table from the ground surface was only 12 cm on an average. In the experimental conditions prevailing in the investigation area, part of the root systems of pine have thus survived below the ground water table, and the roots have even increased in length. Also in earlier investigations (e.g., Mc Quilkin

1935, Ijjasz 1938, Heikurainen 1955 b), it has been proved that roots of coniferous trees have been encountered below the ground water table. They apparently cannot only survive but may even grow in inundated conditions.

A definite deepening of root systems could be observed in the Liesneva area, where almost ten years had elapsed after drainage (Table 14, p. 53). When the length of time an area has been drained exceeds 20 years, no changes worth mentioning seem to take place in respect to the depth distribution of root systems, for in the old drainage area at Jaakkoinsuo (Table 15, p. 54), the depth distribution of root systems was similar to that at Liesneva.

According to the results obtained in the Mortti area (Table 16, p. 54), drainage increases the depth of root systems even in the conditions prevailing in North-Finland. In this respect, the depth development is in North-Finland similar in pattern but not necessarily in amount, the more effective the drainage carried out.

Comparison of the results obtained from different areas reveals that the root systems of pine in swamps in North-Finland were more superficial than in South-Finland. A corresponding result has also been obtained in Sweden; on the basis of investigations carried out in mineral soils (Hesselman 1910 a), it was learned that root systems of trees become gradually more superficial from south to the north.

Distribution of Roots in Diameter Classes

Investigations carried out in different experimental areas (Tables 18, p. 60 and 19, p. 62) reveal that the share of fine roots is very great in the root systems in pine stands in swamps. The main part of the roots are under 1 mm thickness, and the amount of roots exceeding 2 mm in thickness is usually smaller than 10 % of the total amount of roots. This result agrees with Heikurainen's (1955 b) investigations.

According to the results obtained in this investigation, drainage and its effectiveness has no noteworthy effect on the distribution of long roots in diameter classes, thus differing from results in Heikurainen's (ibid.) investigation. According to his study, the root system of old pine stands in swamps in their natural condition functions mainly with the aid of fine roots; the relative share of thick roots increases as a consequence of drainage.

Comparison of the results obtained shows that of the total quantity of roots the proportions of roots under 1 mm in thickness was slightly smaller on an average in the study areas in North-Finland than in those located in South-Finland.

Total Quantity of Short Roots

As a consequence of drainage, the total quantity of short roots has increased (Tables 20—22, pp. 63—65); this increase has also been observed in earlier investigations (Björkman 1941, Heikurainen 1955 b). The increase in the total amount of short roots is, in the first place, due to the increase in the total length of long roots. The results concerning the density of short roots, however, are so contradictory that on the basis of them, it cannot be proved whether drainage also influences the number of short roots per unit length of long roots.

As the changes in the total amount of short roots correlate to the changes in the amount of long roots, the same conclusions as above, with respect to the development of the amounts of long roots, can be drawn concerning the correlation between the

development of the total amount of short roots and the drainage effect. The case is the same as regards the correlation between the total amount of short roots and the time elapsed after drainage.

Due to the smaller amounts of long roots, the number of short roots was considerably smaller per areal unit in Sattasuo in North-Finland than in Jaakkoinsuo in South-Finland. The density of short roots, however, was of the same magnitude in both the areas, a fact which indicates that about equal amounts of short roots per unit length of long roots are formed in both of the climatic regions.

In this investigation, the figures indicating the density of the short roots are slightly smaller than those usually presented in the literature (cf. Björkman 1942, Sirén and Bergman 1951, Heikurainen 1955 b, Mikola and Laiho 1962). The smallness of the density figures is probably due in part to the fact that a number of short roots were lost when the samples were rinsed in water, and thus were not counted.

Vertical Distribution of Short Roots

The results concerning the vertical distribution of short roots (Tables 23—28, pp. 67—71) agree with Heikurainen's (1955 b) investigations. Heikurainen (ibid.) has proved that the occurence of short roots of pines in swamps is very superficial and considerably more superficial than that of long roots. According to him, drainage has not had any clear influence on the density of short roots deeper than in the topmost peat layer. However, as a consequence of the increase in the average depth of the long roots, the average depth of short roots, too, has slightly increased due to drainage. According to the results of the present investigation, the increase in the depth of short roots is directly dependent on the effectiveness of the drainage carried out.

The effect of the time elapsed after drainage on the depth distribution of short roots appears to be principally similar to that of the long roots. However, it ought to be noted, that in the ditch-depth experimental area at Jaakkoinsuo, the formation of short roots was particularly weakened below 5 cm depth in a sample plot where the ground water table had been for more than four years at on average a depth of 12 cm from the ground surface. This lack of drainage has not affected the existence of long roots.

Comparison of the depth distribution of short roots at Jaakkoinsuo and Sattasuo shows that the occurence of short roots was more superficial in North-Finland than in South-Finland.

Mycorrhizal Relations

The investigations concerning the mycorrhizae were mainly carried out, as already mentioned in Section 2, by stereo-microscopically counting the number of so-called »good» mycorrhizae from the external appearance of the short roots. In the ditch-depth experimental fields, additional study was made of the proportion of mycorrhizae by microscopic examination of paraffin sections of the short roots. This microscopic investigation was carried out from samples taken in 1964 and 1965. The results of the mycorrhiza investigation are presented in Tables 29—32 (pp. 72—75).

According to previous investigations (Melin 1917, Malmström 1935, Björkman 1941, 1942, Heikurainen 1955 b), the ratio of true mycorrhizae to the total amount of short roots increases, and the proportion of pseudomycorrhizae

decreases after drainage. The findings of this investigation are similar. The results obtained in the Liesneva area (Table 31, p. 75) show, in addition, that the drainage effect is of decisive importance for the number of »good» mycorrhizae and their depth distribution in the root systems of pines in swamps. Both the number of mycorrhizae and the depth at which they occur is greater, the more effective the drainage.

According to Heikurainen's (1955 b) results, the changes in the proportions of mycorrhizae due to drainage is limited to the upper parts of the root systems. The results of the present investigation do not completely agree with Heikurainen's investigation. In the present investigation, suitable sample plots were available to provide means of assessing the intensity of drainage. This study showed that when drainage is very effective, changes take place even in the proportions of mycorrhizae in parts of the root systems located deeper than in the topmost peat layer. However, it seems to be a rule for the root systems of even effectively drained swamps that in deeper peat layers mycorrhiza formation becomes weaker, a finding also indicated by Heikurainen (1955 b) and others.

On closer observation of the dependance of the proportions of mycorrhizae on the time elapsed after drainage, it can be proved that in the Jaakkoinsuo ditch-depth experimental area, the depth of occurrence of mycorrhizae may slightly have increased during all three growing seasons of effective drainage (Table 29, p. 72). In this same experimental area where in one sample plot the ground water level was raised to within 12 cm of the ground surface, it took more than four years before the weakening of mycorrhizae formation could be observed (Table 30, p. 73). Other kinds of correlation between drainage effect and formation of mycorrhizae at Jaakkoinsuo could not be observed, but at Liesneva, where about 10 years have elapsed after drainage, the correlation of the changes in the proportions of mycorrhizae were brought forth rather distinctly (Table 31, p. 75). According to results obtained at Jaakkoinsuo, it seems possible that the depth of mycorrhizae can increase during a comparably long time after drainage (Table 32, p. 75).

The results obtained during different years from the investigational areas located in South- and North-Finland are so contradictory that they do not permit any conclusions to be drawn on the differences in the proportions of mycorrhizae in the climatic areas in question.

Structure of the Root Systems and Stand Increment

The results obtained by measurements of the increment of the growing stock are presented in Tables 33, p. 77 and 34, p. 82, in text tables on page 82, and in Figs. 14—19 (pp. 78—83). The results reveal that the effectiveness of drainage had a decisive influence on the growth of the trees. The narrower the strips between ditches, the better has been the growth, the implication being that drainage is more intense or severe the shorter the distance between ditches.

Comparison of the results of the measurements concerning the increment of the growing stock and the results of the root investigations do not permit the conclusion that the increase in the growth of pine stands due to drainage presupposes changes in the root systems. It can be proved, however, that the increase in growth is in clear correlation to the deepening of root systems and the occurrence of »good» mycorrhizae. The stand increment has considerably increased when »good» mycorrhizae have occurred abundantly, and even in peat layers located deeper than the surface. On the other hand, when mycorrhiza formation has been weak, stand increment has been poor. These

results concerning the correlation between the occurrence of »good» mycorrhizae and stand increment agree with previous investigations (e.g., Melin 1927, Björkman 1942, Bergman 1955, Mikola and Laiho 1962). In the present study, no clear correlation was observed between the changes in the total amounts of roots and the increase in the stand increment.

5. Discussion

By means of drainage, the excess water is removed, in consequence of which, the potential growing space available for the root systems increases. The vertical increase of this growing space can be described on the basis of the distance between the ground surface and the ground water table. It can also be expected that the root systems expand into the increased growing space due to the lowering of the ground water table when other conditions prevailing in the soil become good enough for the growth and functioning of the roots.

According to the results obtained, the main part of the root systems has been located prior to drainage at 0—10 cm depth in the so-called ditch-depth experimental fields. By water regulation the ground water table has been lowered by as much as 50 cm. In spite of this, the root systems have remained as superficial as before drainage for three growing seasons. Because we know that the roots of pine annually grow about 10—50 cm in length (e.g., Engler 1903, Laitakari 1927, Ladefoged 1939), it would seem that the root systems would surely have been able to penetrate deeper than before if conditions for the healthy functioning of roots had been as good in deeper peat layers as in the superficial layers. On the basis of the results, it seems evident that the vertical increase in the air space of the soil achieved by drainage, does not directly cause a deepening of the root systems.

The reason for this may be that during the first years after drainage there are abundant nutrients available for the roots only in the topmost peat layer. It is known that the amounts of nutrients — especially potassium and phosphorus — decrease rapidly when penetrating deeper from the surface (Vahtera 1955, Kaila and Kivekäs 1956, Paarlahti and Vartiovaara 1958, Binns 1962, Holmen 1964). According to this, the initial increase in the depth of the root systems does not occur until the mobilization of nutrients becomes greater as a result of drainage. The fact that the short roots which take up nutrients have been very superficial after drainage and that mycorrhizae have occurred only at depths not exceeding 25—30 cm, even in effectively drained swamps, can be influenced by the fact that the changes taking place in the microbial population and nutrition conditions usually do not reach deeper than to the depth of 30 cm (Huikari 1953 b, Paarlahti and Vartiovaara 1958).

The vertical distribution of the root systems of pine can also be influenced by the fact that in pine swamps the peat at depths exceeding 30 cm generally is humified and for this reason poorly permeable to water (e.g., Huikari 1959 b, 1959 c). In peats of this kind, the movement of the water is slow, and even small amounts of precipitation fill up all the pores in the soil. For this reason, the hydrological conditions prevailing in deep peat layers during rainy periods can be rather unfavourable, in spite of the fact that drainage has been carried out. Perhaps the existence of the roots is hindered by just these unfavourable periods in the soil hydrology, even if the ground water table during the growing season should be on an average at 0.5 m depth. Compact and humified peat can also physically hinder root growth, as has been proved in experiments carried out, for instance, on grasses (Nyström and Osvald 1918).

Even the changes in the total quantity of roots, as a consequence of drainage, can be studied in the light of the amount of nutrients in the soil and its changes. According to the results obtained, the more effective the drainage, the greater has been the increase in the amount of roots, up to a certain limit. Beyond this limit more effective drainage has failed to increase the total amount of roots. It can be supposed that when drainage has been very effective, the mobilization of nutrients is so strong that the trees need only a relatively limited root system in order to get the nutrients required.

The total amount of roots in experimental areas located in northern Finland was smaller, and the root systems more superficial than in southern Finland in about similar stands with respect to volume and stem number. Why the development of the root systems in northern Finland has been poorer than in southern Finland cannot be concluded on the basis of the material of this investigation. Probably one of the major causes is the prevailing difference in temperature conditions in the soil. For instance, from June through August in 1963, the mean soil temperature in the Sattasuo area in northern Finland was 9.1° C at a depth of 5 cm and 8.1 ° C at 20 cm depth. Hence the temperatures at Sattasuo by 2.2° at 5 cm depth and by 2.5° at 20 cm depth were lower from those at Jaakkoinsuo. Even the warming up of the soil in the early summer was slower at Sattasuo than at Jaakkoinsuo. Although the soil temperature, even in northern Finland, exceeded the required minimum temperature for root growth (cf. Hansen 1937, Ladefoged 1939, Reed 1939, Zgurovskaja 1963), unfavourable temperature conditions can influence the root development, i.e., by making root growth slower. We can assume, for instance, that the amount of fine roots in northern Finland is smaller than that in southern Finland, because of the fact that the trees, due to the low soil temperature, are not able to grow more new roots to replace those annually dying. According to Heikurainen (1955 a), the roots under 1 mm in thickness in root systems of pine are replaced on the average every third year.

Still more important than the direct effect of the soil temperature is probably its indirect effect on the growth and functioning of the roots. As is already known, the temperature is of noticeable importance for the microbical activity in the soil (e.g., Mikola 1960), and thus, even for the amount of nutrients available for the roots and their distribution in different soil layers. The superficiality of the roots in northern Finland may be caused by the fact that, from the standpoint of their nutrition, they exist best in a very thin and warm surface layer where mobilization of the nutrients is strong.

However, the results obtained from the experimental area in Mortti indicate that even in northern Finland the total amount and the depth of the root systems in pine swamps increase as a consequence of drainage. According to this, unfavourable water conditions are the minimum factor limiting the growth and functioning of root systems also in northern Finland. It appears, then, that the influence of the unfavourable temperature conditions in the soil in northern Finland is so strong that, even after drainage, the total amount of roots remains smaller and the root systems are more superficial than in southern Finland.

This shows that the amounts of mycorrhizae and the depth of the roots increase after effective drainage. These changes in the structure of the root systems have a favourable influence on the nutrition of pine stands, and consequently, also on the increment of the growing stock under swamp conditions. A clear correlation was found between the post-drainage stand growth and the depth of the root systems and the occurrence of »good» mycorrhizae. Probably the very fact that the roots are able to obtain nutrients located deeper in the peat is of essential importance for the stand

growth, for instance, on such a swamp type, rather poor in nutrients, as the cotton-grass pine swamp. Also, the increase in the total amount of roots is favourable from the standpoint of tree growth, even if a strong increase in the quantity of roots to some extent deprives substances which might otherwise have gone toward growth of the aerial parts of the trees.

Observation of the results from the standpoint of the practical ditching activity proves that the effectivness of the drainage of the soil had a decisive effect on the develoment of the root systems. The narrower the strips used at ditching, i.e., the shorter the distance between ditches, the more pronounced were changes in the root systems, favourable for the stand growth, such as changes in the proportions of mycorrhizae and the deepening of the root systems. Even the post-drainage stand increment was considerably better on narrow strips than on broad ones. According to these results, it is biologically advantageous to space ditches at close intervals in drainage of swamps.

A BASAL AREA-MEAN TREE METHOD IN FOREST INVENTORY

KULLERVO KUUSELA

SELOSTE:

POHJAPINTA-ALAKESKIPUUMENETELMÄ METSÄNINVENTOINNISSA

HELSINKI 1966

Helsinki 1966. Valtioneuvoston kirjapaino

Contents

	Page
Introduction	5
Estimates of volume and timber products	7
Characteristics and their symbols	7
Characteristics of the single tree	7
Characteristics of the mean tree	8
Characteristics of the growing stock	8
Principles of the relascope sampling	9
Calculation of the characteristics from the measurements	11
Estimate of the increment	15
Applications	19
Calculations of the volume characteristics on a single plot	19
Estimate of the increment on a single plot	22
Method in a forest inventory	23
References — Kirjallisuus	29
Seloste	30

Introduction

The characteristics of a stand or a growing stock in forest mensuration and inventory are usually expressed as mean estimates. The aim is to get the estimates of the mean number of stems, mean volume, etc. per hectare. Even if all trees are tallied on small areas, at least part of the characteristics are expressed as means, e.g., the height of trees in each diameter class, form and volume. The larger the forest area, the greater number of the characteristics are means estimated by sample.

The great number of trees, the great variation of the size and economic value of the stems and their location in terrain where it is often difficult to move are the main factors which make forest sampling difficult and require numerous measurements and calculations. It is highly important to choose that sampling method suitable to the conditions obtaining. In order to decrease the work and costs, ocular estimates in the field or on aerial pictures have been used in many cases, especially in extensive forestry. In order to decrease the possibility of systematic errors in the ocular estimation method, many auxiliary measurements and tables have been evolved; nevertheless, it is impossible to avoid biased results.

The tendency to decrease the field work may lead to estimates based on too small a sample or to inaccurate measurements, thus often resulting in »unexpected» errors. In intensive forestry there is a growing need for reliable estimates. In Finland for example the subjective methods have been replaced to a great extent by sampling measurements planned on a sound statistical basis during these last years.

In the present stage of development there is an urgent need to develope an economical and reliable measurement technique. This paper deals with the measurement and calculation technique only. The problems of a proper sample size and sampling layout are not treated.

The aim is to develope an efficient, flexible method which can be used with electronic computors or desk calculators. All possible methods of calculation should be taken into account in order to ensure results under all conditions.

The method described in this paper has been developed in the experiments of relascope sampling (B i t t e r l i c h 1948). The basic principle is, that in the relascope sampling the number of trees tallied in each diameter

class will be proportional to their importance in forming the basal area (Grosenbaugh 1958). For example, if the number of trees of 10 cm in DBH equals the number of trees of 30 cm in DBH per hectare, the number of 10 cm trees tallied in the relascope sampling is 1/9 of the number of 30 cm trees.

Another advantage of the relascope sampling is that many mean characteristics of the growing stock can be calculated without constructing the stem distribution series. The direct calculation of a mean tree and some basic functions between the characteristics decrease the calculation work.

The basic ideas of the basal area-mean tree method have been described in earlier papers (Kuusela 1960; 1961). A complete description can be presented now, since the method has been used in the Finnish National Forest Inventory.

Estimates of volume and timber products

Characteristics and their symbols

The basal area-mean tree method is based on the characteristics of the single tree and the basal area mean tree and on the characteristics of the growing stock per unit area as well as on the mathematic and empiric relationships between these characteristics.

Characteristics of the single tree

d = diameter of the stem at breast height, including bark, in centimeters (cm).

h = height of the stem in meters (m).

g = cross-sectional area of the stem at breast height in square meters (m^2):

$$g = \frac{\pi \ d^2}{4} = 0.7854 \ d^2 \qquad (1)$$

v = volume of the stem in cubic meters (m^3). In the Finnish volume tables the volume is a function of d, h and taper class.

$d_{3.5}$ = diameter of the stem at height of 3.5 m or 2.2 m from the height of d.

d_6 = diameter of the stem at height of 6 m or 4.7 m from the height of d.

$d—d_{3.5}$ = taper class in full centimeters for trees 6 or 7 m in height.

$d—d_6$ = taper class in full centimeters for trees 8 m or more in height.

$\%_S$ = percentage of the saw timber volume.

$\%_P$ = percentage of the pulp wood volume.

$\%_{Sm}$ = percentage of the small timber volume.

$\%_W$ = percentage of the cutting waste.

In this presentation there is no need to define the timber products which vary a great deal according to market conditions.

Characteristics of the mean tree

The mean tree characteristics are calculated from those trees which are tallied by relascope on a sample plot or on a number of sample plots. They can be calculated by tree species or by combining all species. Each tree is a sampling unit which gives a certain amount of basal area and volume as well as number of trees per hectare (ha) or any other unit area. These so called unit characteristics obtaind when the relascope factor is 1:

G_u = 1 m²/ha which means that a tree tallied by the relascope on a plot gives 1 m² of basal area per hectare.
V_u = unit volume given by a tree on a plot per hectare (m³/ha).
N_u = unit number of trees given by a tree on a plot per hectare.

The mean tree of a stand or a group of stands has the basal area of 1 m²/ha. The mean characteristics are:

$\bar{V}_u$ = mean unit volume or the volume per 1 m²/ha of basal area.
$\bar{N}_u$ = mean unit number of trees or the number of trees per 1 m²/ha of basal area.
$\bar{d}$ = arithmetic mean diameter of the relascope trees.
$\bar{h}$ = arithmetic mean height of the relascope trees.
f = form factor of the mean tree defined by the formula

$$f = \frac{\bar{V}_u}{G_u \times \bar{h}} = \frac{\bar{V}_u}{\bar{h}} \tag{2}$$

If the mean height and form factor are known, the mean unit volume is

$$\bar{V}_u = \bar{h} \times f \tag{3}$$

The portion of a timber product from the mean tree volume is the mean timber product percentage, e.g.:

$\bar{\%}_S$ = saw timber percentage of the mean tree.

Characteristics of the growing stock

Some of the mean tree characteristics as such are the same as corresponding growing stock characteristics. For example, the mean diameter and mean height of the mean tree are the estimates of the mean diameter and mean height weighted by basal area. The form factor and timber product percentages of the mean tree equal the stock characteristics, also. Some other stock characteristics can be calculated from the mean tree characteristics. They are:

G = basal area, including bark (m^2/ha).
V = volume, including bark (m^3/ha).
N = number of trees per hectare.

Calculations on basis of the sample plot measurements will be described later. However, from the definitions above the formulas of the growing stock volume (V) can be inferred:

$$V = G \times \overline{V}_u = G \times \bar{h} \times f \tag{4}$$

Thus the mean unit volume equals the height form factor. The form factor can be calculated by the formulas:

$$f = \frac{\overline{V}_u}{\bar{h}} = \frac{V}{G \times \bar{h}}$$

Principles of the relascope sampling

The relascope sampling is based on circular plots. The plot size increases with the increasing diameter of the tree. The relationship between the sizes of trees and of plots is such that each tallied tree on a plot gives 1 m^2/ha of the basal area, or a multiple of it, to the estimate of growing stock basal area. For a tree having the diameter d, the sample plot radius can be calculated from a proportion:

$$\frac{g}{\pi r^2} = \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{\pi r^2} = \frac{q}{A}$$

where g is the cross sectional area and d the diameter of the tree, r is the sample plot radius for the tree of this size, A is the unit of land area, e.g. hectare, and q is the relascope factor indicating the number of square meters of the basal area per hectare given by each tree tallied on a plot. The formula of the plot radius is

$$r = 0.5 \; d \sqrt{\frac{A}{q}}$$

For example: The relascope factor q = 1 and A = 10 000 m^2. The plot radius is

$$r = 0.5\ d \sqrt{\frac{10\,000}{1}} = 50\ d$$

Thus the plot radius for a tree having d = 20 cm is 50 × 20 cm = 10 m.

The relascope factor q = 2 or each tallied tree gives 2 m²/ha of basal area. The plot radius is

$$r = 0.5\ d \sqrt{\frac{10\,000}{2}} = \frac{50}{\sqrt{2}}\ d = 35.35534\ d$$

The plot radius for a tree having d = 20 cm is 7.071 m.

The simplest relascope is a sighting notch on the end of a stick. The proportion of the notch width (d′) to the stick length (r′) equals the proportion of the tree diameter to the plot radius (Fig. 1).

$$\frac{d'}{r'} = \frac{d}{r}$$

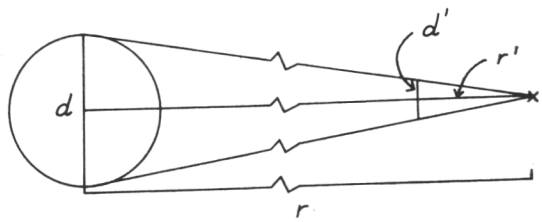


Fig. 1. The notch width (d′), the stick length (r′) of a simple relascope, the diameter of a boundary tree (d) and the plot radius (r).

Kuva. 1. Yksinkertaisen relaskoopin hahlon leveys (d′), varren pituus (r′), rajapuun läpimitta (d) ja koealan säde (r).

For example: If the relascope factor is 1, and the stick length is 1 m, the notch width calculated from d = 20 cm and r = 10 is:

$$d' = 1 \times \frac{20}{10} = 2 \text{ cm}$$

If the relascope factor is 2 and the notch width 2 cm, the stick length is:

$$r' = 2 \times \frac{7.071}{20} = 0.7071\ m$$

In the relascope sampling it is assumed that each tree tallied by the relascope has 1 m²/ha as the unit basal area. The estimate of the basal area

given by each tallied tree equals the unit basal area multiplied by the relascope factor.

The unit number of trees per hectare (N_u) of each tree tallied by the relascope is a function of its diameter:

$$N_u = \frac{1}{g} = \frac{1}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{\frac{4}{\pi}}{d^2}$$

If the diameter is measured in centimeter the unit number is

$$N_u = \frac{12\,732.4}{d^2}$$

For example: The diameter of a tree tallied by the relascope is 25 cm. The unit number of this tree is:

$$N_u = \frac{12\,732.4}{25^2} = 20.4$$

If the relascope factor is 1, the tree increases the estimate of the growing stock number N by 20.4 trees per hectare. If the relascope factor is 2, the tree gives $2 \times 20.4 = 40.8$ trees per hectare.

If the largest plot determined by the largest tree can be located in the stand, the plot is a full circle and the plot factor k = 1. If the largest plot extends outside the stand, a part-plot can be measured (Fig. 8). The part plot is a sector of all circles. The calculations are simplified if the part-plot is a multiple of the tenth part of the full plot. Thus the plot factors of all possible part-plots are

$$0.1,\ 0.2,\ 0.3\ \ldots\ 0.9$$

Calculation of the characteristics from the measurements

The estimate of the basal area (G) given by a relascope plot, where the number of tallied trees is n, is

$$G = q\frac{n}{k} \tag{6}$$

If the relascope factor $q = 1$ and the plot factor $k = 1$ (the plot is a set of full circles) the basal area is

$$G = n \tag{7}$$

The estimate of the basal area given by several plots, each plot having a sequence number i, is

$$G = q \frac{\Sigma\ n_i}{\Sigma\ k_i} \tag{8}$$

If $q = 1$ and $k = 1$ the summation $\Sigma\, k_i$ equals the sequence number of the last plot or maximum i (i_{max}) and

$$G = \frac{\Sigma\ n_i}{i_{max}} \tag{9}$$

For mechanical calculations the formulas given above can be modified. For example, the relascope factor $q = 2$ and the plot factors are recorded without the decimal point (k can be 01, 02, 03 . . . 10). The estimate of the basal area per hectare is

$$G = 20 \frac{\Sigma\ n_i}{\Sigma\ k_i} \tag{10}$$

The estimate of the number of trees given by a tree tallied by the relascope is (Table 1)

$$N_u = \frac{12\,732.4}{d^2} \tag{11}$$

Table 1. The unit number of trees as a function of diameter of trees tallied by relascope.
Taulukko 1. Yksikkörunkoluku relaskoopilla luetun puun läpimitan funktiona.

d cm / 10 cm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00		12 732.40	3 183.10	1 414.71	795.78	509.30	353.68	259.84	198.94	157.19
10	127.32	105.23	88.42	75.34	64.96	56.59	49.74	44.06	39.30	35.27
20	31.83	28.87	26.31	24.07	22.10	20.37	18.83	17.47	16.24	15.14
30	14.15	13.25	12.43	11.69	11.01	10.39	9.82	9.30	8.82	8.37
40	7.96	7.57	7.22	6.89	6.58	6.29	6.02	5.76	5.53	5.30
50	5.09	4.90	4.71	4.53	4.37	4.21	4.06	3.92	3.78	3.66
60	3.54	3.42	3.31	3.21	3.11	3.01	2.92	2.84	2.75	2.67
70	2.60	2.53	2.46	2.39	2.33	2.26	2.20	2.15	2.09	2.04
80	1.99	1.94	1.89	1.85	1.80	1.76	1.72	1.68	1.64	1.61
90	1.57	1.54	1.50	1.47	1.44	1.41	1.38	1.35	1.33	1.30

A number n of tallied trees gives the estimate of the mean unit number per hectare

$$\overline{N}_u = \frac{\sum \frac{12\,732.4}{d^2}}{n} \tag{12}$$

The estimate of the number of trees per hectare is

$$N = G \times \bar{N}_u \tag{13}$$

The number of trees per hectare estimated by i sample plots is

$$N = q \frac{\Sigma\ n_i}{\Sigma\ k_i} \times \frac{\sum \frac{12\,732.4}{d^2}}{n} \tag{14}$$

The number of trees per hectare (N_x) in a diameter class d_x (d_x is the middle of the class), is

$$N_x = q \frac{\Sigma\ n_{ix}}{\Sigma\ k_i} \tag{15}$$

where $\Sigma\ n_{ix}$ is the number of trees belonging to the diameter class d_x and tallied on all sample plots (Comp. V u o k i l a 1959).

The use of the diameter class middle value may be a source of a systematic error which is dependent on the stem distribution figure and the class width. If the class width is small, e.g., 1 cm, the possible error is very small.

Volume per hectare (V) can be calculated by two formulas presented earlier:

$$V = G \times \bar{V}_u = G \times \bar{h} \times f$$

The mean unit volume $(\bar{V}_u)$ is the arithmetic mean of the unit volumes (V_u) of the sample trees tallied by the relascope. It is calculated by two formulas:

$$V_u = N_u \times v = \frac{12\,732.4}{d^2} \times v \tag{16}$$

$$\bar{V}_u = \frac{\Sigma\ (\frac{12\,732.4}{d^2} \times v)}{m} \tag{17}$$

In the last formula m is the number of volume sample trees. In the Finnish volume tables the accurate volume (v) of each sample tree is a function of d, h and taper class, d—d_6 or d—$d_{3.5}$. On an individual sample plot the number of the volume sample trees (m) may equal the number of tallied trees. In an inventory work a part of tallied trees are needed as volume sample trees.

For estimating the portions of timber product volumes each volume sample tree is divided into timber products. For example, the mean saw timber percentage ($\bar{\%}_S$) on basis of the percentages of the individual sample trees ($\%_S$) is

$$\bar{\%}_S = \frac{\Sigma\ V_u \times \%_S}{\Sigma\ V_u} = \frac{\Sigma\ (\frac{12\,732.4}{d^2} \times v \times \%_S)}{\Sigma\ (\frac{12\,732.4}{d^2} \times v)} \qquad (18)$$

The total growing stock volume is divided into timber products by mean timber product percentages and by factors which give the relationship between growing stock volume and commercial units of timber products.

The timber products can be estimated directly in commercial units, also. The mean commercial unit volumes are calculated from sample tree measurements in the same way as the mean unit volume $\bar{V}_u$ is calculated.

The mean diameter and mean height are the arithmetic means of the corresponding tree characteristics. For example, tree mean diameter ($\bar{d}$) of relascope trees is

$$\bar{d} = \frac{\Sigma\ d}{n} \qquad (19)$$

If the diameter is measured from a smaller number of trees than what is needed for basal area estimates, n is substituted by m in the formula (19).

The mean diameter from the measurements on several full circle sample plots ($k = 1$) is calculated by the formula (19). If there are partial plots the formula is

$$\bar{d} = \frac{\Sigma\ k_i d_j}{\Sigma\ n_i k_i} \qquad (20)$$

where i is the sequence number of plots, j the sequence number of trees measured on each plot and k the plot factor.

The characteristics and formulas described above can be used in several ways according to the size and nature of the inventory project. The first step is to calculate the mean basal area by stand classes and tree species on the basis of the tree tally plots. The estimate of the mean unit volume and other mean characteristics are calculated on basis of the sample trees taken from the tallied trees. For estimates of the growing stock volume by numerous statistical strata in cases of large inventories, the mean unit volume and timber product percentages can be presented advantageously as functions of the mean diameter. The mean basal area and mean diameter by tree species are calculated from tree tally data for each stratum and the other characteristics are calculated by the functions. Instead of the mean diameter the mean height can be used as the independent variable (K u u s e l a 1960).

Estimate of the increment

In this paper the estimation of the increment is limited to the increment of those trees in the stand at the time of the measurement. If there has been any drain, caused by cutting or natural dying, during the increment measurement period, the estimate defined above does not include the increment of the drain trees. The total increment can be estimated by adding the increment of standing trees to the increment of drain trees or approximately by using the increment data of standing trees in a proper way (K u u s e l a 1964).

In the basal area-mean tree method the increment is the difference of the present volume and the volume n years ago. It can be calculated with or without bark but in the mean tree method the increment with bark is theoretically more correct.

The basic formula is

$$V = G \times \overline{h} \times f$$

The characteristics at the time of measurement are estimated as presented earlier. For the estimates of the characteristics n years earlier the following characteristics of each sample tree are needed:

$2b$ = two times the bark thickness in millimeters (mm).

i_{dn} = increment of the diameter, excluding bark, during n years, in millimeters (mm).
This is double the increment of radius ($2\ i_{rn}$).

i_{hn} = increment of the height during n years in decimeters (dm).

The following growing stock characteristics are calculated on the basis of the sample tree measurements:

G_{eb} = basal area excluding bark

G_{eb-n} = basal area excluding bark n years ago

$\overline{h}_{-n}$ = mean height n years ago

The unit basal area of each sample tree is 1 m²/ha. According to the definition the unit basal area including bark is

$$G_u = N_u \times g = N_u \times \frac{\pi\ d^2}{4} = 1$$

The unit basal area excluding bark (G_{ueb}) is

$$G_{\mathrm{ueb}} = N_u \times g_{\mathrm{eb}} = N_u \times \frac{\pi\ d^2_{\mathrm{eb}}}{4}$$

where d_{eb} is the diameter excluding bark and g_{eb} is the cross sectional area excluding bark.

Solved from the first equation

$$N_u = \frac{4}{\pi\, d^2}$$

which substituted into the second equation gives

$$G_{ueb} = \frac{4}{\pi\, d^2} \times \frac{\pi\, d^2_{eb}}{4} = \frac{d^2_{eb}}{d^2}$$

The summation of the unit basal areas, excl. bark, of all sample trees is

$$\Sigma\, G_{ueb} = \sum \frac{d^2_{eb}}{d^2} = \sum \left(\frac{d_{eb}}{d}\right)^2 \tag{21}$$

Equally the summation of the unit basal areas n years ago, excl. bark (G_{ueb-n}) is

$$\Sigma\, G_{ueb-n} = \sum \left(\frac{d_{eb-n}}{d}\right)^2 \tag{22}$$

The diameter excl. bark and diameter n years ago excl. bark are calculated by the formulas

$$d_{eb} = d - 2b \tag{23}$$

$$d_{eb-n} = d_{eb} - i_{dn} \tag{24}$$

The mean height n years ago ($\bar{h}_{-n}$) should be calculated from the mean heights of single sample trees n years ago

$$h_{-n} = \bar{h} - i_{hn} \tag{25}$$

in such a way that the mean height is the average weighted by each unit basal area, including bark, n years ago:

$$\bar{h}_{-n} = \frac{\Sigma\, G_{u-n} \times h_{-n}}{\Sigma\, G_{u-n}} \tag{26}$$

A very accurate approximation is calculated by the formula

$$\bar{h}_{-n} = \bar{h} - \frac{\Sigma\, i_{hn}}{m} \tag{27}$$

where m is the number of increment sample trees and the unit basal areas at the time of measurement are the weight numbers.

Since the number of the increment sample trees equals the basal area in full square meters ($m = G$) in exceptional cases only, the summation

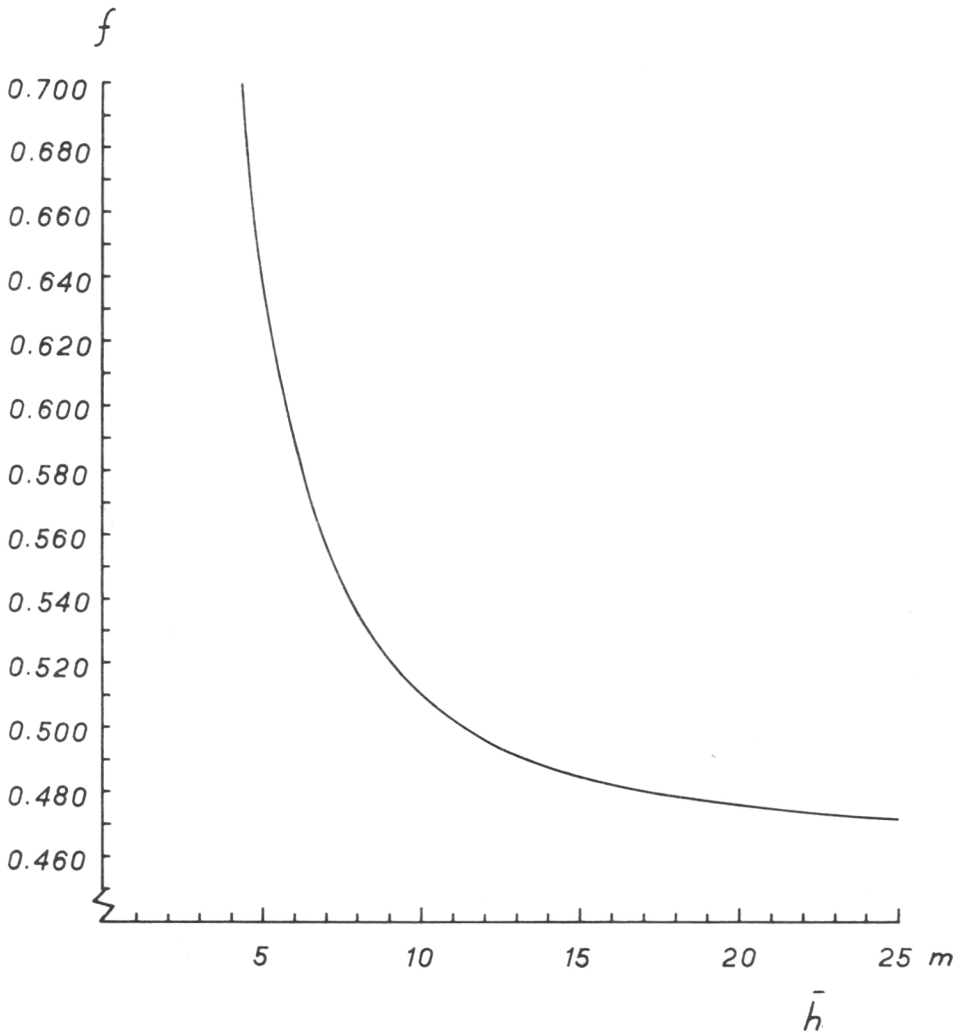


Fig. 2. Form factor of stands dominated by spruce.
Kuva 2. Kuusivaltaisten metsiköiden muotokerroin.

of unit basal areas will be transformed into to basal area per hectare. The basal area per hectare, incl. bark, *(G)* is estimated as presented earlier. The number of the increment sample trees is m and the proportion

$$\frac{G}{m} = w \tag{28}$$

is the factor which gives the growing stock characteristics on basis of the unit characteristic summations:

$$N = w \times \Sigma N_u \tag{29}$$

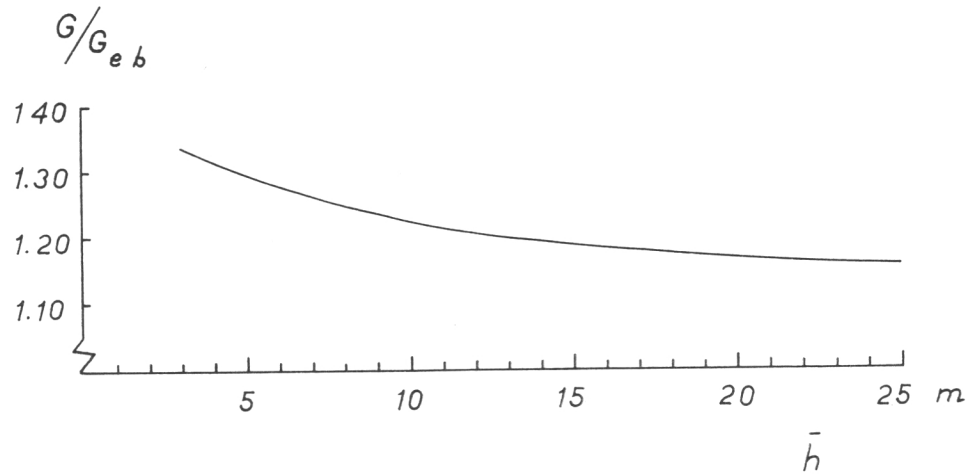


Fig. 3. Basal area proportion of stands dominated by spruce.
Kuva 3. Kuusivaltaisten metsiköiden pohjapinta-alasuhde.

$$G_{eb} = w \times \Sigma\, G_{ueb} \tag{30}$$

$$G_{eb-n} = w \times \Sigma\, G_{ueb-n} \tag{31}$$

$$V = w \times \Sigma\, V_u \tag{32}$$

For calculating the volume n years ago, the estimates of the form factor n years ago (f_{-n}) and the basal area incl. bark n years ago (G_{-n}) are needed. They are estimated on basis of the data which describe the development of these characteristics in suitable conditions. In figures 2 and 3 these characteristics are presented as the functions of the mean height in stands dominated by the spruce.

Thus a method to estimate the increment is based on the estimates of

$$f,\ f_{-n},\ \frac{G}{G_{eb}} \text{ and } \frac{G_{-n}}{G_{eb-n}}$$

as the functions of the mean heights $\bar{h}$ and $\bar{h}_{-n}$. The measured values of G_{eb} and G_{eb-n} are transformed into the fitted estimates of G and G_{-n} and the so called basic increment characteristics are calculated by the formulas

$$V = G \times \bar{h} \times f$$

$$V_{-n} = G_{-n} \times \bar{h}_{-n} \times f_{-n} \tag{33}$$

The increment during n years (i_n) is the difference

$$i_n = V - V_{-n} \tag{34}$$

and the mean annual increment (i) is

$$i = \frac{V - V_{-n}}{n} \tag{35}$$

As mentioned earlier, this procedure gives the increment of those trees which are in the stand at the time of the measurement. It equals the total increment only if there has been no drain during the increment measurement period of n years.

Applications

Calculations of the volume characteristics on a single plot

Calculations of the volume characteristics on basis of the measurement on a single plot are presented in Table 2. The stand is dominated by spruce and its age is 115 years. The basal area of the stand is estimated from four points by the relascope (Fig. 4). The relascope factor $q = 1$ and the plot factor $k = 1$. The number of trees observed from each point is as follows:

Observation point	1	2	3	4	Total
Number of spruces	14	13	10	14	51
» pines	2	5	1	2	10
Total number	16	18	11	16	61

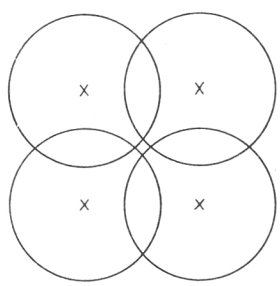


Fig. 4. Four relascope points for the estimation of basal area.
Kuva 4. Neljä relaskooppikoealan keskipistettä pohjapinta-alan arvioimiseksi.

At the point 1 the basal area by formula (7) is 16 m²/ha. Based on the observations of all four points, the basal areas of spruces, pines and total stand are by the formula (9) 12.75, 2.50 and 15.25 m²/ha.

In observing the number of trees every fourth one was taken as a sample tree. For the estimate of the volume the diameter *(d)*, height *(h)* and diameter at 6 meters height was measured. The volume of each sample tree *(v)* is the function of diameter, height and taper class $(d—d_6)$.

The unit numbers N_u of each sample tree of known diameter is calculated by the formula (11). The mean unit number $\bar{N}_u$ is calculated by the formula (12) in such a way that n in the formula equals m in Table 2.

Table 2. Stand dominated by spruce. Age: 115 years — *Ikä: 115 vuotta.*
Taulukko 2. Kuusivaltainen metsikkö.
Number of years in increment period $n = 3$ — *Vuosia kasvunmittausjaksossa* $n = 3$

No. of sample tree *Koepuun n:o*	Tree species *Puulaji*	d	d_6	$d—d_6$	$2b$	d_{eb}	i_{dn}	$d_{eb—n}$	$\frac{d_{eb}}{d}$
		cm			mm	mm			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Spruce — *Kuusi*	25	21	4	17	233	9	224	0.932
2	»	21	18	3	15	195	10	185	929
3	»	15	12	3	14	136	9	127	907
4	»	13	9	4	10	120	8	112	923
5	»	10	4	6	8	92	11	81	920
6	»	15	11	4	14	136	11	125	907
7	»	11	5	6	10	100	11	89	909
8	Pine — *Mänty*	23	19	4	22	208	8	200	904
9	Spruce — *Kuusi*	16	13	3	12	148	8	140	925
10	Pine — *Mänty*	25	19	6	34	216	11	205	864
11	Spruce — *Kuusi*	21	16	5	13	197	13	184	938
12	»	20	16	4	14	186	24	162	930
13	»	21	17	4	14	196	9	187	933
14	»	17	13	4	15	155	8	147	912
15	»	19	16	3	15	175	17	158	921
Spruce — *Kuusi* $G = 12.75$ $m = 13$ $w = 0.981$		Σd 224 $\bar{d}$ 17.2				$f = \frac{V}{G\bar{h}} = 0.494$ $\frac{G}{G_{eb}} = 1.173$			ΣG_{ueb} 11.0524 G_{eb} 10.87
Pine — *Mänty* $G = 2.50$ $m = 2$ $w = 1.250$		Σd 48 $\bar{d}$ 24.0				$f = \frac{V}{G\bar{h}} = 0.479$ $\frac{G}{G_{eb}} = 1.276$			ΣG_{ueb} 1.5637 G_{eb} 1.96
Total — *Yhteensä* $G = 15.25$ $m = 15$ $w = 1.017$		Σd 272 $\bar{d}$ 18.1				$f = \frac{V}{G\bar{h}} = 0.494$ $\frac{G}{G_{eb}} = 1.189$			ΣG_{ueb} 12.6161 G_{eb} 12.83

For example: The unit number of the sample tree No. 1 is 20.40. The mean unit number is 49 trees per hectare and the estimate of all trees per hectare *(N)* by the formula (13) is 745. In the case of a single sample plot the summation of the unit numbers (ΣN_u) multiplied by the factor w (28) gives the number of trees per hectare, too. In this case $w = 1.017$ and $\Sigma N_u = 733.00$. The number of spruce trees, 688, and pine trees, 57, are calculated in the same way.

Because of rounded decimals, the summation of the spruce and pine trees as well as the summation of other characteristics calculated by the formulas presented above, does not precisely equal the number of the trees

$\frac{d_{eb-n}}{d}$	h m	i_{hn} dm	v m^3	N_u trees/ha *kpl/ha*	V_u
11	12	13	14	15	16
0.896	19	15	0.452	20.40	9.22
881	17	12	304	28.90	8.79
847	14	12	130	56.60	7.36
862	13	12	084	75.30	6.33
810	9	12	033	127.00	4.19
833	12	12	111	56.60	6.28
809	9	13	041	105.00	4.30
870	18	10	370	24.10	8.92
875	13	10	143	49.70	7.11
820	16	5	362	20.40	7.38
876	17	12	268	28.90	7.75
810	17	15	257	31.80	8.17
890	17	12	286	28.90	8.27
865	15	12	165	44.10	7.28
832	18	15	257	35.30	9.07
ΣG_{ueb-n} 9.4655	Σh 190	Σi_{hn} 164		ΣN_u 688.50	ΣV_u 94.12
	$\bar{h}$	$\bar{i}_{hn}$		N	V
G_{eb-n} 9.29	14.6 $\bar{h}_{-n}$ 13.3	13		688 $\bar{N}_u$ 53	91.93 $\bar{V}_u$ 7.24
ΣG_{ueb-n} 1.4293	Σh 34	Σi_{hn} 15		ΣN_u 44.50	ΣV_u 16.30
	$\bar{h}$	$\bar{i}_{hn}$		N	V
G_{eb-n} 1.79	17.0 $\bar{h}_{-n}$ 16.2	8		57 $\bar{N}_u$ 22	20.37 $\bar{V}_u$ 8.15
ΣG_{ueb-n} 10.8948	Σh 224	Σi_{hn} 179		ΣN_u 733.00	ΣV_u 110.42
	$\bar{h}$	$\bar{i}_{hn}$		N	V
G_{eb-n} 11.08	14.9 $\bar{h}_{-n}$ 13.7	12		745 $\bar{N}_u$ 49	112.30 $\bar{V}_u$ 7.36

Increment of spruce

Kuusien kasvu

$G = 10.87 \times 1.188 = 12.91$
$G_{-n} = 9.29 \times 1.196 = 11.11$
$V = 12.91 \times 14.6 \times 0.485 = 91.42$
$V_{-n} = 11.11 \times 13.3 \times 0.489 = 72.26$
$i_n = 19.16$
$i = 6.3$

Increment of pine

Mäntyjen kasvu

$G = 1.96 \times 1.177 = 2.31$
$G_{-n} = 1.79 \times 1.180 = 2.11$
$V = 2.31 \times 17.0 \times 0.480 = 18.85$
$V_{-n} = 2.11 \times 16.2 \times 0.481 = 16.44$
$i_n = 2.41$
$i = 0.8$

Increment of total stand

Koko metsikön kasvu

$G = 12.83 \times 1.185 = 15.20$
$G_{-n} = 11.08 \times 1.192 = 13.21$
$V = 15.20 \times 14.9 \times 0.484 = 109.62$
$V_{-n} = 13.21 \times 13.7 \times 0.488 = 88.32$
$i_n = 21.30$
$i = 7.1$

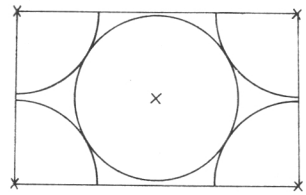


Fig. 5. On a rectangular plot the sample trees can be observed by the relascope from the corners and the center of the plot.
Kuva 5. Nelikulmaisella koealalla voidaan koepuut valita relaskoopilla koealan kulmista ja keskeltä.

in the total stand. However, the values in Table 2 are adjusted so as to be equal.

The estimate of the stem distribution series could be calculated by the formula (15). However, the number of sample trees is too small for this purpose.

The unit volume (V_u) of each sample is calculated by the formula (16), the mean unit volume $(\bar{V}_u)$ by the formula (17) and the volume per hectare (V) by the formula (4). For example: The unit volume of the sample tree No. 1 is 9.22 m³/ha, the mean unit volume of all trees 7.36 m³/ha and the stand volume 112.30 m³/ha. The estimate of the stand volume can be calculated as the product of w and ΣV_u, too.

The estimates of the mean diameter $(\bar{d})$ and mean height $(\bar{h})$ are arithmetic means of the sample tree characteristics (19). In this case they are 18.1 cm and 14.9 m.

The form factor (f) is calculated by the formula (5) and for the total stand it is 0.494.

The method described above can be used in cases when the sample plot is a traditional one, e.g., a rectangular plot. The basal area is estimated on the basis of the number of trees and their diameters but the sample trees are chosen by the relascope. For example, the sample trees are observed from the corners and the center of the rectangular plot (Fig. 5).

Estimate of the increment on a single plot

The calculations of the increment characteristics on a single plot are presented in Table 2. The diameter excl. bark (d_{eb}) and the diameter excl. bark n years ago (d_{eb-n}) for each sample tree are calculated by the formulas (23) and (24) on basis of the measured diameter (d), double bark thickness $(2b)$ and diameter increment (i_{dn}). The summation of the unit basal areas, excl. bark (ΣG_{ueb}), calculated by the formula (21) is 12.6161 m²/ha and the stand basal area, excl. bark (G_{eb}), by the formula (30) is 12.83 m²/ha.

The stand basal area, excl. bark, n years ago (G_{eb-n}) calculated by the formulas (22) and (31) is 11.08 m²/ha. The increment of the basal area, excl. bark, during n years is the difference between G_{eb} and G_{eb-n}.

The theoretically correct estimate of the mean height ($\bar{h}_{-n}$) is calculated by the formula (25). A very accurate approximation of it is calculated by the formula (27). The mean height increment of the stand in Table 2 is 11.9 dm and the mean height n years ago 13.7 m.

Thus the increment characteristics are G_{eb}, G_{eb-n}, $\bar{h}$ and $\bar{h}_{-n}$. The change of the form factor and the bark content during the increment measurement period are not known if the diameter and height increment only are measured. The estimates of these characteristics can be based on suitable empirical data. The form factor and the proportion of the basal area incl. bark and the basal area excl. bark as the functions of the mean height in stand dominated by spruce are presented in Figures 2 and 3. The adjusted increment characteristics are calculated by these functions and the increment is calculated by the formulas (4) (33) (34) (35).

The increment of the total stand and by the tree species is calculated in Table 2 using the increment characteristics and functions in Figures 2 and 3.

On basis of Table 2 it is obvious that if the stand volume can be calculated by the average form factor as the function of the mean height the measurements and calculations can be simplified considerably. In Table 2 the columns 1—3 and 12 only are needed. In estimating the increment on a single sample plot the measurements and calculations in the columns 14—16 are needed only if the results are used for new functions such as presented in Figures 2 and 3.

The further use of the increment data in Finland is presented in the paper by K u u s e l a 1964.

Method in a forest inventory

In the Finnish national forest inventory in south Finland the areas of the land use and the stand classes are estimated by the line survey and the growing stock characteristics by the relascope plots with the relascope factor $q = 2$. The plots are located at 200 m distances on the survey line. The lines are located by tracts in such a way that the north-south and east-west distances between the tract centers are 8 km (Fig. 6), the length of the north-south sides are 1.4 km, and the length of the east-west sides 1.2 km (Fig. 7).

There are three kinds of sample plots. On every one of 26 sample plots in each tract, if the mid-point is located on forest land, the trees are tallied by tree species and registered in diameter classes of 1 cm. Six of these tree

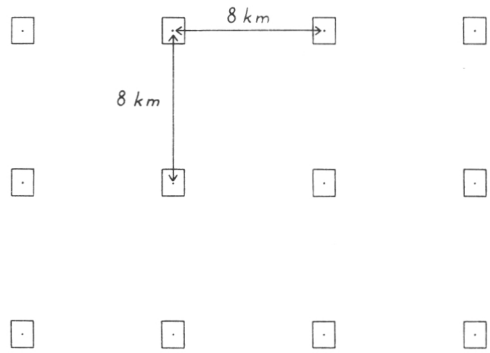


Fig. 6. Survey lines located by tracts in the Finnish national forest inventory in uthos Finland.
Kuva 6. Lohkoittain sijoitetut arvioimislinjat valtakunnan metsien inventoinnissa Suomen etelä-osassa.

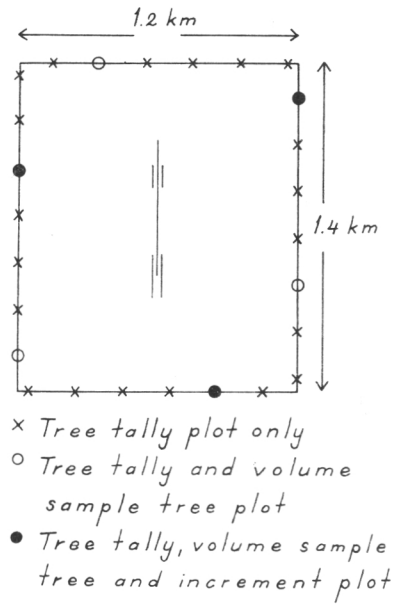


Fig. 7. Survey line of a tract and the sample plots on it.
Kuva 7. Yhden lohkon arvioimislinja sekä puuston mittaamiseksi käytetyt koealat, joista ristillä merkitty on puiden luvun koeala, ympyrällä merkitty puiden luvun ja kuutioimiskoepuiden koeala ja pallolla merkitty puiden luvun, kuutioimis- ja kasvukoepuiden koeala.

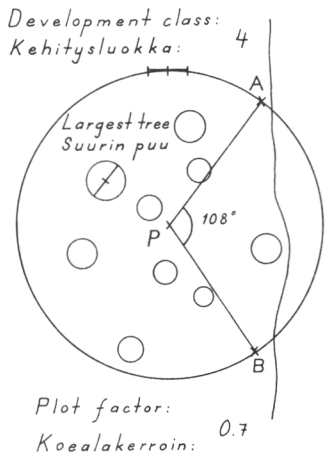


Fig. 8. A part plot measured in the development class 4 near a stand boundary.
Kuva 8. Osakoeala, joka on mitattu kehitysluokan 4 metsikköön lähelle metsikkörajaa.

tally plots, located as presented in Fig. 7, are volume sample plots where the height, taper class and the principal timber products of each tallied tree are estimated. Three of the volume sample plots are increment sample plots (Fig. 7) where the bark thickness, diameter and height increment of each sample tree are measured (the height increment of the deciduous trees is estimated as a function of the tree age and crown storey).

Each boundary tree on the sample plots is checked by measuring its diameter and distance from the plot mid-point.

If the sample plot is located at the boundary of two stand classes, the sample plot is registered in that stand class where the mid-point is. If the largest circle of the plot determined by the largest tree crosses the boundary of the stand class, a part plot can be measured (Fig. 8). The growing stock in the boundary areas will be more correctly weighted if all plots on the forest land are measured as full plots. The plot is registered in that stand class where its mid-point is located and each tallied tree is registered in the stand class where it grows (Fig. 9).

On basis of the tree tally plots the basal area per hectare (G) and mean diameter $(\bar{d})$ by stand classes and tree species are calculated by the formulas (8) and (19).

On the basis of the volume sample plots the mean diameter $(\bar{d})$, mean unit volume (V_u) and mean timber product percentages by tree species are calculated by the formulas (16), (17) and (18) for each sample plot. The mean unit volumes and mean timber product percentages are presented as the functions of the mean diameter (Figures 10 and 11). The functions are checked and possible systematic errors corrected in the following way:

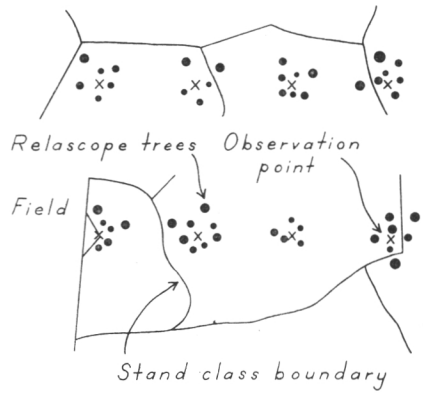


Fig. 9. All plots on the forest land can be measured as full plots. The plot is registered in that stand class where its mid-point is located and each tallied tree is registered in the class where it grows.
Kuva 9. Kaikki metsämaalla olevat koealat voidaan mitata täyskoealoina, jolloin koeala rekisteröidään siihen metsikköluokkaan kuuluvaksi, missä sen keskipiste (risti) on, ja luettu puu (pallo) siihen luokkaan kuuluvaksi, missä se kasvaa.

The volume sample plots are grouped, e.g., by development classes. For each class the volume is calculated on the basis of the individual unit volumes, which is the accurate volume, and on basis of the functions described above. The possible differences of these two estimates are eliminated by correcting the functions.

The volume per hectare and the timber product percentages as functions of the basal area per hectare and mean diameter are presented in Table 3. The final tabulation of the results by development classes is presented in Table 4. In this form they can be used in planning the treatment of the growing stock and in estimating the increment and the allowable cut.

The estimates of the volume and timber products by age classes, site classes, etc., can be calculated as described above. When the stem distribution series are wanted the basal area and number of stems by diameter classes can be calculated by the formulas (8) and (15).

The estimates of the growing stock characteristics calculated by the mean tree method can be systematically incorrect in the case of individual stand classes. However, the overall means are correct.

Each individual increment sample plot is treated as presented in Table 2. The increment percentages of each plot stand are adjusted as the functions of stand age and volume separately for stands dominated by pine, spruce and deciduous species. The increment percentage functions and the cutting budget method used in Finland are described in the papers by K u u s e l a and N y y s s ö n e n 1962; K u u s e l a and K i l k k i 1963; K u u s e l a 1964.

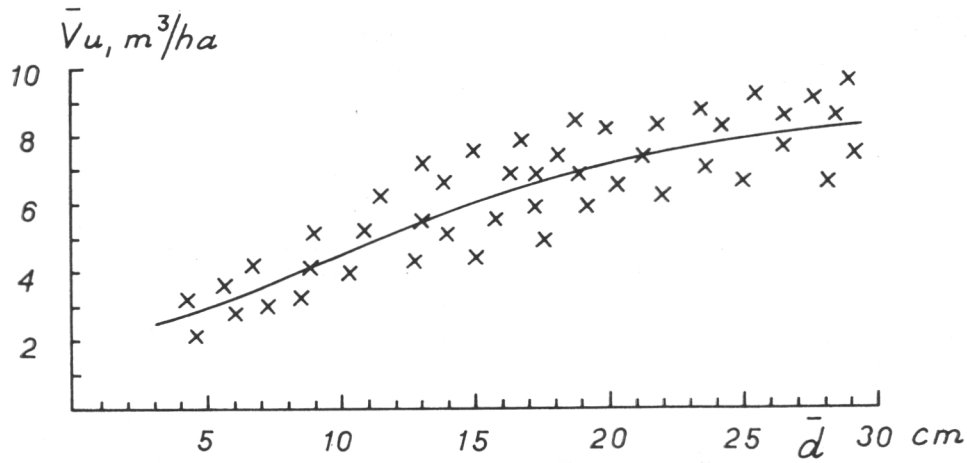


Fig. 10. Mean unit volume of pine for an inventory unit in south-western Finland.
Kuva 10. Männyn keskimääräinen yksikkökuutio eräällä Lounais-Suomen inventointialueella.

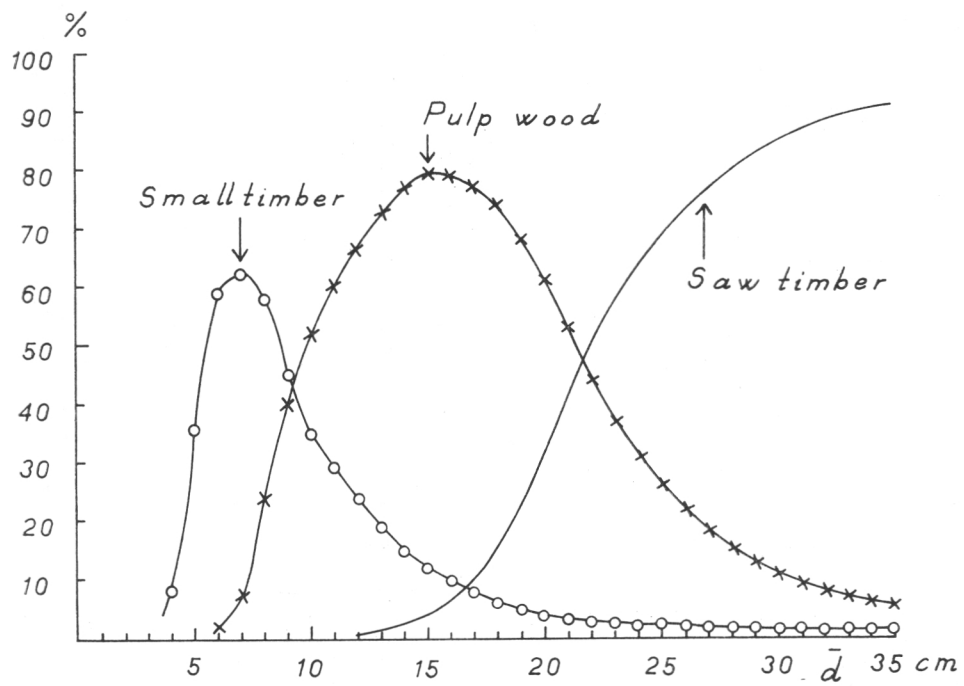


Fig. 11. The timber product percentages of volume of pine for an inventory unit in south-western Finland.
Kuva 11. Männyn keskimääräiset puutavaralajiprosentit eräällä Lounais-Suomen inventointialueella.

Table 3. An example of calculating the mean volume and timber products by tree species for and area class of stands dominated by pine and in the development class of preparatory cutting.

Taulukko 3. Esimerkki keskikuution ja puutavaralajisuhteiden laskemisesta puulajeittain pinta-alaluokassa, jonka mäntyvaltaiset metsiköt kuuluvat kehitysluokkaan väljennysmetsiköt.

Tree species *Puulaji*	$\bar{g}$	$\bar{d}$	$\bar{V}_u$	$\bar{v}$	Saw timber *Sahapuu*	Pulp wood *Paperipuu*	Small timber *Ohutpuu*	Cutting waste *Hakkuutähde*
	m^2/ha	cm	m^3/ha		percentage of the volume *prosenttia kuutiomäärästä*			
Pine — *Mänty*	15.1	23.2	7.7	116.3	59	36	2	3
Spruce — *Kuusi*	4.0	19.5	7.9	31.6	31	61	5	3
Deciduous sp. — *Lehtipuu*	0.6	15.5	6.6	4.0	7	77	9	7
Total — *Yhteensä*	19.7	—	—	151.9	52	42	3	3

Table 4. Growing stock by development classes of stands dominated by pine in Lounais-Suomi.

Taulukko 4. Maa ja puusto kehitysluokittain Lounais-Suomen mäntyvaltaisissa metsiköissä.

Development class — *Kehitysluokka*		1	2	3	4	5	6	7	8	Total *Yhteensä*
Area — *Pinta-ala*, %		4.2	6.2	13.7	33.8	19.0	9.2	7.7	6.2	100.0
Site index — *Boniteetti-indeksi*		3.1	2.9	3.0	2.9	3.3	3.0	3.0	3.2	3.0
Mean age, years — *Keski-ikä, v.*		91	13	17	55	77	94	89	77	61
Mean basal area — *Keskipohjapinta-ala*, m^2/ha		3.8	4.9	3.3	15.7	19.7	17.4	10.1	11.0	13.0
Mean diameter, cm: *Keskiläpimitta*, »	Pine — *Mänty*	26.4	21.5	7.9	16.3	23.2	25.4	24.9	24.9	—
	Spruce — *Kuusi*	15.2	12.2	6.1	13.5	19.5	19.2	18.4	15.9	—
	Deciduous—*Lehtipuu*	15.0	10.7	6.4	11.6	15.5	14.2	13.1	16.0	—
Mean volume, m^3/ha: *Keskikuutio*, »	Pine — *Mänty*	25.6	23.7	9.5	71.2	116.3	97.2	64.8	56.1	67.4
	Spruce — *Kuusi*	2.0	3.8	1.6	18.9	31.6	29.6	11.4	17.4	17.6
	Deciduous—*Lehtipuu*	2.0	5.1	1.1	6.5	4.0	8.1	2.4	8.7	5.0
	Total — *Yhteensä*	29.6	32.6	12.2	96.6	151.9	134.9	78.6	82.2	90.0
Saw timber — *Sahapuu*, %		59	33	—	6	52	58	61	52	35
Pulp wood — *Paperipuu*, »		34	53	20	77	42	35	33	41	53
Small timber — *Ohutpuu*, »		3	8	55	11	3	3	3	3	7
Cutting waste — *Hakkuutähde*, %		4	6	25	6	3	4	3	4	5

Development classes:

1. Seed tree stands
2. Seedling and sapling stands with standards
3. Seedling and sapling stands
4. Thinning stands
5. Stands in preparatory stage
6. Mature stands
7. Shelter wood stands
8. Unproductive stands

Kehitysluokat:

1. *Siemenpuustot*
2. *Taimistot ja nuoret metsiköt, joissa on ylispuita*
3. *Taimistot ja nuoret metsiköt*
4. *Harvennusmetsiköt*
5. *Väljennysmetsiköt*
6. *Uudistuskypsät metsiköt*
7. *Suojuspuustot*
8. *Vajaatuottoiset metsiköt*

References — Kirjallisuus

Bitterlich, W. 1948. Die Winkelzählprobe. Allg. Forst-u. Holzwirtsch. Ztg., p. 4—5

Grosenbaugh, L.R. 1958. Point-sampling and line-sampling: Probability theory, geometric implications, synthesis. Occasional paper 1960. Southern Forest Experiment Station. U.S. Forest Service.

Kuusela, Kullervo. 1960. Volume and increment calculation of a sample plot determined with the relascope. *Selostus:* Kuution ja kasvun laskenta relaskoopilla määritetyllä koealalla. AFF 71.

—»— 1961. Korppoon metsien inventoinnissa käytetty menetelmä. *Summary:* The method used in the inventory of Korppoo forests. Metsätaloudellinen Aikakauslehti No. 8. Helsinki.

—»— 1964. Increment-drain forecast for a large forest area. *Seloste:* Kasvun ja poistuman ennuste suurelle metsäalueelle. AFF 77.5.

—»— ja Aarne Nyyssönen. 1962. Tavoitehakkuulaskelma. *Summary:* The cutting budget for a desirable growing stock. AFF 74.

—»— and Pekka Kilkki. 1963. Multiple regression of increment percentage on other characteristics in Scotch-pine stands. *Seloste:* Kasvuprosentin ja muiden metsikkötunnusten välinen yhteiskorrelaatio männiköissä. AFF 75.

Vuokila, Yrjö. 1959. Relaskooppimenetelmän tarkkuudesta puuston arvioinnissa. *Summary:* On the accuracy of the relascope method of cruising. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 51.4.

AFF = Acta forestalia fennica.

Seloste

Pohjapinta-alakeskipuumenetelmä metsäninventoinnissa

Tunnukset

Menetelmä perustuu relaskoopin käyttöön puiden luvussa ja se rakentuu yksityisen puun, pohjapinta-alakeskipuun ja pinta-alayksikköä kohti lasketun puuston tunnuksista sekä näiden tunnusten välisistä matemaattisista ja empiirisistä suhteista.

Yksityisen puun tunnukset ovat:

d = läpimitta kuoren päältä rinnankorkeudelta.
h = pituus.
g = poikkileikkauspinnan ala rinnankorkeudella kuoren päältä. Se lasketaan kaavalla (1).
v = kuutiomäärä kuorineen.
$d_{3.5}$ = läpimitta 3.5 m:n korkeudelta kuoren päältä.
d_6 = läpimitta 6 m:n korkeudelta kuoren päältä.
$d—d_{3.5}$ = kapenemisluokka 6 ja 7 m:n pituisille puille.
$d—d_6$ = kapenemisluokka 8 m:n pituisille ja sitä pidemmille puille.
$\%_{oS}$ = sahapuuosuuden prosentti kuutiomäärästä. Vastaavalla tavalla merkitään paperipuun, ohutpuun ja hakkuutähteen osuudet. Relaskoopilla luettujen puiden ns. yksikkötunnukset ovat:
G_u = 1 m²/ha eli yhden relaskoopilla luetun puun antama yksikköpohjapinta-ala hehtaaria kohti.
V_u = yhden relaskoopilla luetun puun antama yksikkökuutio hehtaaria kohti (m³/ha).
N_u = yhden relaskoopilla luetun puun antama yksikkörunkoluku hehtaaria kohti (kpl/ha).

Keskipuun pohjapinta-ala on 1 m²/ha ja muut keskitunnukset ovat:

$\overline{V}_u$ = keskimääräinen yksikkökuutio eli kuutiomäärä yhtä pohjapinta-alan neliömetriä kohti.
$\overline{N}_u$ = keskimääräinen yksikkörunkoluku eli runkoluku yhtä pohjapinta-alan neliömetriä kohti.
$\bar{d}$ = keskiläpimitta, joka on relaskoopilla luettujen puiden läpimittojen aritmeettinen keskiarvo.
$\bar{h}$ = keskipituus, joka on relaskoopilla luettujen puiden pituuksien aritmeettinen keskiarvo.
f = muotokerroin, joka määritetään kaavalla (2). Keskimääräisen yksikkökuution, keskipituuden ja muotokorkeuden välillä vallitsee kaavan (3) mukainen riippuvuus.
$\overline{\%}_{oS}$ = keskipuun sahapuuprosentti. Vastaavalla tavalla merkitään myös muut keskipuun puutavaralajiprosentit.

Puuston tunnuksista muutamat ovat samoja kuin keskipuun tunnukset. Siten esim. keskipuun läpimitta ja pituus ovat samat kuin puuston pohjapinta-alalla punnittu keskiläpimitta ja -pituus. Muut tunnukset, kuten pohjapinta-ala *(G)*, kuutiomäärä *(V)* ja runkoluku *(N)*, kaikki hehtaaria kohti, voidaan laskea. Kuutiomäärän kaava (4) perustuu esitettyihin määritelmiin.

Relaskooppiarvioinnin periaatteet

Relaskooppiarvioinnissa käytetään ympyräkoealoja, joissa kutakin läpimittaa olevan puun koealan säde on suhteessa läpimittaan siten, että jokainen luettu puu antaa pohjapinta-alan arvioon yhden neliömetrin tai neliömetrin kerrannaisen hehtaaria kohti.

Jos puun läpimitta on d, ympyräkoealan säde r, metsämaan pinta-alan yksikkö (esim. hehtaari) neliömetreissä ja relaskooppikerroin q (joka ilmoittaa kuinka monta neliömetriä yksi luettu puu antaa pohjapinta-alan arvioon), niin sivulla 9 esitetty kaava osoittaa ympyräkoealan säteen riippuvuuden puun läpimitasta. Jos relaskoopin tähtäyshahlon leveys on d' ja varren pituus r', niin sivulla 10 esitetty kaava osoittaa hahlon leveyden, varren pituuden, puun läpimitan ja koealan säteen välisen verrannon.

Jos johonkin metsikköön ei mahdu läpimitaltaan suurinta puuta vastaava ympyräkoeala, niin metsikössä voidaan mitata osakoeala. Tällöin laskelmissa voidaan käyttää koeala-kerrointa *(k)*, joka täyskoealalla on 1 ja osakoealoilla pienempi kuin 1; esim. voidaan käyttää täyskoealan kymmenesosan kerrannaisia.

Tunnusten laskenta mittaustuloksista

Edellä esitettyjä tunnusten merkkejä käyttäen lasketaan puuston pohjapinta-ala yhdellä relaskooppialalla kaavalla (6). Jos $q = 1$ ja $k = 1$, niin pohjapinta-ala saadaan kaavalla (7). Useita koealoja käytettäessä pohjapinta-alan arvion kaava on (8), jossa koealan järjestysnumeroa osoittaa i. Kun $q = 1$, $k = 1$ ja i_{max} = suurin i, niin pohjapinta-alan arvio saadaan kaavalla (9).

Kutakin luettua puuta vastaava yksikkörunkoluku saadaan kaavalla (11) taulukossa 1 on esitetty kutakin 1 cm:n luokkiin kuuluvaa puuta vastaava yksikkörunkoluku. Keskimääräinen yksikkörunkoluku ja runkoluku hehtaaria kohti saadaan kaavoilla (12) ja (13). Useammalla kuin yhdellä koealalla arvioituna saadaan runkoluku hehtaaria kohti kaavalla (14) ja läpimittaluokan runkoluku kaavalla (15), jossa N_x on runkoluku läpimittaluokassa d_x.

Kutakin relaskooppikoealalla luettua puuta vastaava yksikkökuutio saadaan kaavalla (16) ja useiden koepuiden perusteella saatava keskimääräinen yksikkökuutio kaavalla (17), jossa m on mitattujen kuutioimiskoepuiden lukumäärä. Kuutiomäärän arvio hehtaaria kohti saadaan jo aikaisemmin mainitulla kaavalla (4). Koepuiden mukainen keskimääräinen jonkin puutavaralajin prosentti lasketaan kaavalla (18).

Relaskooppipuuston keskiläpimitta yhdellä koealalla tai useilla täyskoealoilla saadaan kaavalla (19). Jos mukana on osakoealoja, niin keskiläpimitta lasketaan kaavalla (20).

Kasvun arviointi

Kasvun arvioinnissa keskipuumenetelmä rajoittuu mittaushetkellä metsässä olevien puiden kasvuun n vuoden pituisen mittausjakson aikana. Kasvu lasketaan erotuksena siten, että mittausten perusteella lasketaan kuoreton pohjapinta-ala ja

keskipituus mittaushetkellä ja n vuotta sitten sekä kuorisuhteiden ja muotokertoimen keskimääräisen muuttumisen perusteella kuorellinen pohjapinta-ala ja muotokerroin mittaushetkellä ja n vuotta sitten, jonka jälkeen kuutiomäärien laskemiseksi käytetään kaavaa

$$V = G \times \bar{h} \times f$$

Aikaisemmin esitettyjen lisäksi ovat kasvun arvioinnissa tarpeen seuraavat koepuiden tunnukset:

$2b$ = kuoren kaksinkertainen paksuus.
i_{dn} = kuorettoman läpimitan kasvu n vuoden aikana.
i_{hn} = pituuden kasvu n vuoden aikana.

Koepuumittausten perusteella lasketaan seuraavat puuston tunnukset:

G_{eb} = pohjapinta-ala kuoretta.
G_{eb-n} = pohjapinta-ala kuoretta n vuotta sitten.
h_{-n} = keskipituus n vuotta sitten.

Kasvukoepuita vastaavien kuorettomien yksikköpohjapinta-alojen summa lasketaan kaavalla (21) ja sama tunnus n vuotta sitten kaavalla (22). Kunkin yksityisen koepuun osalla lasketaan kuoreton läpimitta kaavalla (23) ja kuoreton läpimitta n vuotta sitten kaavalla (24). Keskipituus n vuotta sitten lasketaan koepuumittausten perusteella kaavoilla (26) ja (27), joista jälkimmäisessä oleva m tarkoittaa kasvukoepuiden lukumäärää. Koepuumittausten ja edellä esitettyjen tunnusten perusteella saadaan edelleen puuston runkoluvun, kuorettoman nykyisen ja n vuotta sitten olleen pohjapinta-alan sekä nykykuution arviot kaavoilla (28), (29), (30) ja (31).

Edellä esitettyihin ns. kasvunlaskennan lähtötunnuksiin ei vielä sisälly tietoa muotokertoimen ja kuoren osuuden muuttumisesta mittausjakson aikana. Sen vuoksi tarvitaan piirroksissa 2 ja 3 esitettyjä funktioita, joiden perusteella saadaan keskimääräiset arviot kuorelliselle pohjapinta-alalle ja muotokertoimelle mittaushetkellä ja n vuotta sitten, jonka jälkeen näin saatuja keskimääräisiä tunnuksia ja keskipituuden arvioita käyttäen lasketaan kuutiomäärä mittaushetkellä ja n vuotta sitten (33) sekä kuutiokasvu n vuoden aikana (i_n) ja vuotuinen keskimääräinen kasvu (i) kaavoilla (34) ja (35).

Sovellutuksia

Taulukossa 2 on esitetty kuutiomäärän ja kasvun laskenta yksityisellä koealalla, jolla pohjapinta-alan arvio on saatu neljästä pisteestä mitatuilla relaskooppikoealoilla (kuva 4) ja koepuut valittu relaskoopilla. Laskelmat ovat edellä esitettyjen kaavojen sovellutuksia (kuvat 2 ja 3). Taulukon 2 osalta on syytä todeta, että puulajeittain suoritettujen laskutoimitusten tulokset summattuina eivät ole täsmälleen samat kuin kokonaispuustolle lasketut tulokset, mikä johtuu kertoimien desimaalien pyöristämisestä.

Kuutiomäärän arvioimisen osalta on syytä todeta, että mikäli tyydytään keskipituuden funktiona esitetyn keskimääräisen muotokertoimen antamaan tarkkuuteen, niin mittaukset ja laskelmat yksinkertaistuvat suuresti. Taulukossa 2 tarvitaan ainoastaan kaistat 1—3 ja 12. Kasvun arvioimisessa taas on tarpeen käyttää kaistoja 14—16 vain silloin, kun tarkoituksena on saada aineistoa kuvissa 2 ja 3 esitettyjen funktioiden valmistamiseksi.

Keskipuumenetelmän käyttöä valtakunnan metsien inventoinnissa havainnollistavat kuvat 6—11 ja taulukot 3 ja 4. Puuston ja kasvun tunnukset mitataan relaskooppikoealoilla, joiden relaskooppikerroin on 2. Kasvukoealojen tulosten käyttömahdollisuuksien osalta viitataan julkaisuun K u u s e l a 1964.

METSÄLÖIDEN TUNNUSTEN VAIHTELU ETELÄ-POHJANMAAN JA VAASAN METSÄNHOITO-LAUTAKUNTIEN ALUEELLA

VEIKKO O. MÄKINEN

VARIATION OF THE CHARACTERISTICS OF FORESTS IN FORESTRY BOARD DISTRICTS OF ETELÄ-POHJANMAA AND VAASA

HELSINKI 1966

Helsinki 1966. Valtioneuvoston kirjapaino

Sisällysluettelo

Sivu

1. Johdanto 5

2. Inventoinnin aineisto 6
   21. Perusjoukko 6
   22. Näytemetsälöt ja niiden pinta-alojen muutokset 7

3. Ajankäyttö ja työmäärä kenttätöissä 9
   31. Arviointilinjojen lukumäärä ja keskinäinen etäisyys sekä apumittaukset 9
   32. Keskimääräiset päivätulokset 11

4. Keskitunnukset ja niiden vaihtelu sekä keskivirheet 13
   41. Metsäpinta-ala 13
   42. Metsäisyys- ja metsäprosentti 15
   43. Kuutiomäärä 17

5. Muut tunnukset tilojen suuruusluokittain 20
   51. Maankäyttölajit 20
   52. Veroluokat 21
   53. Kehitysluokkarakenne 22
   54. Ikäluokkasuhteet 23
   55. Puuston kuutiomäärä 24
   56. Metsänhoidollinen tila 26
   57. Metsänhoidollisten toimenpiteiden tarve 28

6. Yhteenveto 30

7. Lähdeviittaukset — References 31

8. Summary in English 32

1. Johdanto

Pohjanmaan metsien koeinventoinnin metsävaroja koskevat tulokset on julkaistu Folia Forestalian numerossa 8 (K u u s e l a 1965). Koeinventoinnin tuloksia analysoidaan myös tässä tutkimuksessa. Taksatorisia, koko metsänhoitolautakunnan aluetta koskevia selvityksiä ei kuitenkaan käsitellä uudestaan, vaan keskitytään pelkästään metsälöittäisiin tuloksiin.

Tutkimuksen päätarkoituksena on tuoda esiin metsälöittäisessä koeinventoinnissa saadut kokemukset ja tehdä niistä tulevia inventointeja ja niiden suunnittelua varten tarpeelliset johtopäätökset (vrt. M ä k i n e n 1964). Kun kysymyksessä on ensimmäinen näin suuren alueen metsälönäytteeseen perustuva inventointi, on tarpeellista saada tietoutta päätunnusten vaihteluista ja virherajoista myös metsälöiden suuruusluokittain tuloksia tarkasteltaessa.

Yksityismetsätalouden kehittämistä ja suunnittelua varten inventoinnin päätulosten esittäminen pinta-alaryhmittäin on hyödyllistä ja tämä tietous sisällytetään tutkimukseen.

Tutkimusmenetelmänä on käytetty näytemetsälöillä suoritettua linjoittaista koeala-arviointia, jolloin pinta-aloja koskevat tiedot on saatu linjan mittauksen yhteydessä tehtyjen silmävaraisten arviointien perusteella ja puustotunnukset relaskooppikoealojen mittausten perusteella. Tulosten laskennassa on käytetty pohjapinta-ala keskipuumenetelmää (K o e i n v e n t o i n n i n . . . 1963).

Professorit L a u r i H e i k i n h e i m o ja K u l l e r v o K u u s e l a ovat lukeneet käsikirjoituksen. Esitän heille parhaat kiitokseni saamistani arvokkaista ohjeista ja neuvoista.

2. Inventoinnin aineisto

21. Perusjoukko

Perusjoukon luettelointi tapahtui pääasiassa metsäntutkimuslaitoksen metsäekonomian tutkimusosaston toimesta. Sama osasto suoritti metsänhoitolautakuntien hakkuupoistuman määrittämisen metsälönäytteeseen perustuvana haastattelututkimuksena.

Perusjoukko luetteloitiin kuntien verotoimistojen kortistojen tai veroilmoitusten perusteella ja tarkistettiin eräiltä osilta maatalouslaskennan aineistojen perusteella.

Välittömästi perusjoukon luetteloinnin jälkeen arvottiin näytetilat kustakin suuruusluokasta etukäteen määritetyn näytemetsälöluvun mukaisesti.

Kummankin metsänhoitolautakunnan alueella metsälöarviointi tapahtui kahdeksassa pitäjässä. Perusjoukon lukumäärä ja vastaava veroluokituksen

Taulukko 1. Tutkimuksen perusjoukko.
Table 1. Population of the investigation.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	Metsälöiden luku *Number of holdings*	Metsäala, ha *Forest area, hectares*
— 4.99	E-Po	3 174	6 562
	Vaasa	1 657	3 488
5.00— 19.99	E-Po	4 376	49 753
	Vaasa	2 664	32 201
20.00— 49.99	E-Po	2 878	89 216
	Vaasa	1 928	59 343
50.00— 99.99	E-Po	761	50 144
	Vaasa	333	21 212
100.00—199.99	E-Po	142	18 221
	Vaasa	27	3 131
200.00+	E-Po	30	7 638
	Vaasa		
Yhteensä *Total*	E-Po	11 361	221 534
	Vaasa	6 609	119 375

mukainen metsäala inventointialueilta oli taulukon 1 mukainen, missä erottautuu pienten metsälöiden erittäin suuri lukumäärä. Esimerkiksi Etelä-Pohjanmaalla alle 5 hehtaarin metsälöitä on yli satakertainen määrä suurimpaan ositteeseen verrattuna, mutta niiden edustama pinta-ala ei ole edes yhtä suuri kuin viimeksi mainitun ositteen näyte.

Vaasan metsänhoitolautakunnan metsälöiden lukumäärä ja perusjoukon pinta-ala on hieman yli puolet Etelä-Pohjanmaan luvuista.

22. Näytemetsälöt ja niiden pinta-alojen muutokset

Perusjoukosta ositteisiin arvottujen näytemetsälöiden pinta-aloissa ilmeni monessa tapauksessa muutoksia luetteloinnin tietoihin verrattuna. Verotuskortistoissa saattoi olla virheellisyyksiä, mutta lisäksi oli pinta-aloihin tullut todellisia muutoksia ostojen, myyntien, jakojen tai muiden syiden johdosta. Kaikki pinta-alatiedot tarkistettiin kullakin näytemetsälöllä inventoinnin yhteydessä.

Taulukosta 2 on nähtävissä näytemetsälöiden arvonnan mukaiset lukumäärät eri ositteissa sekä myös pinta-alatarkistuksen mukaiset luvut. Taulukon mukaan suurinta pinta-alaluokkaa lukuun ottamatta muissa ositteissa metsälöiden määrä on muuttunut.

Taulukko 2. Näytemetsälöiden luku ja muutokset pinta-aloissa.
Table 2. Number of sample holdings and fluctuations in forest areas.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	Näytteeseen *In sample* arvottu *by lots*	Näytteeseen *In sample* inventoitu *inventoried*	Erotus *Difference*	Metsäala — *Forest area* lisääntynyt *increased*	Metsäala — *Forest area* vähentynyt *decreased*	Metsäala — *Forest area* ennallaan *no change*
		metsälöitä, kpl — *number of holdings*					
— 4.99	E-Po	5	4	—1	—	—	4
	Vaasa	1	2	+1	—	1	1
5.00— 19.99	E-Po	23	21	—2	6	4	11
	Vaasa	15	17	+2	4	6	7
20.00— 49.99	E-Po	43	43	—	7	7	29
	Vaasa	30	28	—2	4	5	19
50.00— 99.99	E-Po	27	28	+1	6	5	17
	Vaasa	12	9	—3	—	—	9
100.00—199.99	E-Po	10	12	+2	4	1	7
	Vaasa	1	3	+2	1	1	1
200.00+	E-Po	5	5	—	—	1	4
	Vaasa	—	—	—	—	—	—
Yhteensä *Total*	E-Po	113	113	—	23	18	72
	Vaasa	59	59	—	9	13	37

Ositteesta toiseen sattuneiden siirtojen lisäksi on tapahtunut sisäisiä muutoksia, jotka ovat kuitenkin olleet siksi vähäisiä, etteivät ne ole aiheuttaneet siirtymistä ositteesta toiseen.

Etelä-Pohjanmaalla oli pinta-alan lisäyksiä enemmän kuin vähennyksiä, mutta Vaasan alueella tilanne oli päinvastainen. Täysin muuttumattomina pinta-alat pysyivät 72 ja 39 metsälöllä, jotka edustivat 64 ja 63 prosenttia kaikista näytemetsälöistä. Siten likimäärin joka kolmannen metsälön pinta-ala muuttui. Tämä vaikeutti monessa tapauksessa työskentelyä ja aiheutti arviointilinjaston uudelleen sijoittelun.

3. Ajankäyttö ja työmäärä kenttätöissä

31. Arviointilinjojen lukumäärä ja keskinäinen etäisyys sekä apumittaukset

Arviointilinjojen lukumäärä ja linjaväli olivat sellaiset, että metsiköiden välinen vaihtelu tuli mahdollisimman hyvin esiin ja inventoinnissa selvitetyksi (K o e i n v e n t o i n n i n . . . 1963). Linjoja oli vähintään 4—15 metsäverotuksen alaisen pinta-alan vaihdellessa 3—500 hehtaariin. Kun metsäpalstan muoto oli lähinnä suorakaide, mikä Pohjanmaalla oli vallitsevin palstatyyppi, niin linjaväli oli edellä mainittujen pinta-alojen puitteissa 60—210 metriä. Näillä palstoilla linjat kuljettiin kohtisuoraan pitempään sivuun nähden, mutta neliönmuotoisilla palstoilla kohtisuoraan pitkän-

Taulukko 3. Arviointilinjojen lukumäärä, linjaväli, mitattu matka ja siirtymämittaukset keskimäärin metsälöä kohti.
Table 3. Number of survey lines, line distance, measured length and transferring measurements on an average per holding.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	Arviointilinjoja, kpl *Number of survey lines*	Linjojen etäisyys, m *Line distance, m*	Mitattu linjamatka, m *Measured line length, m*	Siirtymämittaukset, m *Transferring measurements, m*	Siirtymämittaus 1000 linjametriä kohti *Transferring measurement per 1000 line meter*
— 4.99	E-Po	14.5	41	786	836	1 063
	Vaasa	9.5	45	513	390	760
5.00— 19.99	E-Po	20.7	76	2 228	1 557	698
	Vaasa	24.2	75	2 069	1 818	879
20.00— 49.99	E-Po	31.8	95	4 219	2 942	697
	Vaasa	47.7	96	3 919	4 512	1 151
50.00— 99.99	E-Po	52.8	104	8 721	5 426	622
	Vaasa	52.3	102	6 650	5 248	789
100.00—199.99	E-Po	58.7	137	15 068	7 945	527
	Vaasa	47.7	130	9 580	6 083	635
200.00+	E-Po	48.4	192	21 313	8 874	416
	Vaasa	—	—	—	—	—
Yhteensä *Total*	E-Po	36.3	98	6 171	3 747	607
	Vaasa	41.1	91	3 954	3 850	974

omaisia maasto- ja puustokuvioita vastaan (Kuusela 1960, Mäkinen 1964).

Pohjanmaan olosuhteissa metsäpalstat ovat muodoltaan siksi nauhamaisia, että arviointilinjojen luku tuli keskimäärin edellä mainittuja vähimmäismääriä paljon suuremmiksi. Taulukon 3 mukaan pienimmässäkin ositteessa linjaluku oli 14.5 Etelä-Pohjanmaalla ja 9.5 Vaasan alueella. Arviointilinjojen lukua lisäsivät metsätalousalan joutomaan kuviot, jotka kuuluivat arvioitavaan alaan, mutta joiden pinta-alat eivät sisältyneet verotettavan metsäalan mukaan määräytyneisiin ositteiden pinta-aloihin.

Metsäpalstojen muoto ja linjaluvut osoittavat, että Vaasan metsänhoitolautakunnan alueella arviointiolosuhteet olivat selvästi Etelä-Pohjanmaata epäedullisemmat. Linjaluku oli edellisellä alueella keskimäärin metsälöä kohti 41.1 ja jälkimmäisellä 36.3.

Olosuhteiden väliset erot korostuvat vielä, kun otetaan huomioon linjojen keskinäinen etäisyys, mikä oli Vaasan alueella pienempi kuin Etelä-Pohjanmaalla. Tämä johtui vuorostaan siitä, että metsälöt olivat pienempiä Vaasan kuin Etelä-Pohjanmaan alueella. Vaikka siis metsälöt Vaasan alueella olivat Etelä-Pohjanmaahan verrattuna keskimäärin pienempiä, niiden linjaluku oli suurempi ja metsäpalstat siten kapeampia ja pitempiä.

Taulukossa 3 esitetään myös mitatut linjamatkat. Kun niitä tarkastellaan sekä ositteittain että keskimäärin metsälöä kohden, voidaan todeta, että ositteittaiset erot johtuvat pääasiassa metsäpalstojen muodosta mutta myös erilaisesta metsälökoosta ja joutomaiden laajuudesta. Vaasan alueella metsälökohtainen linjamäärä oli noin 2/3 Etelä-Pohjanmaan luvusta (vrt. taul. 5).

Varsinaisten linjojen lisäksi jouduttiin mittaamaan välimatkat siirryttäessä arviointilinjalta toiselle. Nämä ns. siirtymämittaukset veivät aikaa sitä enemmän, mitä suurempi oli linjaluku. Vastaavasti väheni tehollinen työaika linjaluvun kasvaessa. Siirtymämatkojen yhteismäärä suureni metsäpinta-alan kasvaessa, mutta se saattoi olla pitkä myös epäedullisissa olosuhteissa kapeilla metsäpalstoilla. Esimerkkinä tällaisesta on taulukossa 3 Etelä-Pohjanmaan pienin osite, missä siirtymämittaukset käsittivät pitemmän matkan kuin varsinaiset arviointilinjat eli 1 063 metriä siirtymistä 1 000 linjametriä kohti.

Tätä Etelä-Pohjanmaan pienintä metsälöryhmää lukuun ottamatta Vaasan alueella siirtymämittaukset olivat pitemmät. Lautakuntien keskiarvona oli siirtymiseen käytettyä mittausta Etelä-Pohjanmaalla 607 metriä ja Vaasassa 974 metriä linjamittauksen 1 000 metriä kohti.

32. Keskimääräiset päivätulokset

Koska inventointi tapahtui metsälöittäin, eivät keskimääräiset päivätulokset voineet nousta yhtä suuriksi, kuin jos työ olisi suoritettu yhtäjaksoisena linjoittaisena arviointina. Valtakunnan metsien III:ssa inventoinnissa, missä koealat mitattiin yhden kilometrin etäisyyksin, päivätulos oli keskimäärin 5.1 km (Ilvessalo 1956, s. 22). Pohjanmaalla kaikkien arviointiryhmien keskiarvoksi saatiin 1 993 m arvioimislinjaa päivässä. Se on vain 40 prosenttia valtakunnan metsien inventoinnin tuloksesta, mutta kuitenkin suurempi kuin Sahalahden pitäjän metsälöittäisessä arvioinnissa, missä päivätulos oli 1 550 m (Mäkinen 1954, s. 104). Sahalahdella tilakohtaiset olosuhteet olivat paremmat kuin Pohjanmaalla, mutta työmäärä oli suurempi, sillä linjakuvioilla tapahtui myös kuutiomäärän ja kasvun silmävarainen arviointi ja koealoilla kairattiin koepuista kasvu sekä tehtiin koeleimauksia, jotka kaikki puuttuivat Pohjanmaan koeinventoinnista.

Relaskooppikoealoja mitattiin tutkimuksessa 17.5 koealaa päivässä. Sahalahden arvioinnissa päivätulos oli 13.4 ympyräkoealaa.

Kenttätyökauden puolivälissä, jolloin arviointiryhmät olivat tehtäviinsä täysin perehtyneet ja työpäivät ehkä olivat pisimmillään, tehtiin kummankin metsänhoitolautakunnan alueella koelaskenta päivätuloksista 50 metsälöä käsittävän aineiston perusteella. Tuloksena olivat seuraavan asetelman mukaiset työmäärät:

	päivää kohden mitattiin		
mhlk	arviointilinjaa, m	siirtoja linjalta toiselle, m	koealoja, kpl
E-Po	2 580	1 388	22.1
Vaasa	1 252	1 186	13.0

Vaasan metsänhoitolautakunnan alueen selvästi pienemmät tulokset johtuvat jo edellä todetusta metsäpalstojen epäedullisemmasta muodosta, palstojen suuremmasta lukumäärästä ja palstojen välisistä pitkistä etäisyyksistä.

Arviointiryhmät (ryhmänjohtaja + 2—3 apulaista) liikkuivat autoilla. Pitäjän alueella olevat metsälöt arvioitiin tavallisesti yhdestä, korkeintaan kahdesta majapaikasta käsin. Matkalaskujen perusteella laskettiin inventoinnissa ajetut kilometrimäärät, mihin sisältyivät matkat keväällä kotipaikkakunnalta työkohteeseen ja syksyllä paluumatka kotiin.

Omilla autoillaan kulkevat ryhmät ajoivat 159 metsälön keskiarvona tilaa kohti 180 km, metsäalan hehtaaria kohti 2.6 km, koealaa kohti 3.5 km sekä yhtä mitattua arviointilinjametriä kohti 0.03 km.

Ruotsissa valtakunnan metsien inventoinnissa esim. vuonna 1961 ajettiin autolla noin 1 100 arviointilohkon keskiarvona 115 km lohkoa kohti.

Taulukko 4. Metsäpalstojen lukumäärä keskimäärin metsälöä kohden.
Table 4. Average number of woodlots per holding.

Mhlk *Forestry Board district*	Osite metsää, ha — *Stratum forest area, ha*						Yhteensä *Total*
	—4.99	5.00—19.99	20.00—49.99	50.00—99.99	100.00—199.99	200.00+	
	palstoja, kpl — *number of woodlots*						
E-Po	1.0	2.2	3.0	3.5	4.5	2.2	3.0
Vaasa	1.5	2.3	3.5	4.1	5.3	—	3.3

Päivittäinen matkustusaika oli tällöin 2.2 tuntia eli 26 % työajasta (Nyyssönen 1963, s. 11).

Vesannon pitäjän metsien arvioinnissa, mikä tapahtui 4 kilometrin pituisia arviointilohkoja käyttäen, saatiin päivätulokseksi suunnilleen aina yksi arviointilohko ja sitä vastaava ajomäärä oli 40 kilometriä (Nyyssönen m.t. s. 12 ja 1965). Pohjanmaalla päivittäinen ajomatka oli 55 km eli 38 % Vesannolla ajettua pitempi, mutta vain vajaa puolet Ruotsissa valtakunnan metsien inventoinnissa ajetusta määrästä.

Pohjanmaan koeinventoinnissa saatu Vesannon arviointiin verrattuna selvästi suurempi ajomatka johtuu suurelta osalta erilaisesta menetelmästä. Vesannolla oli kysymyksessä yhden pitäjän alueella suoritettu työ, jolloin siirtymämatkat pitäjästä toiseen jäivät pois. Mutta lisäksi siellä käytetty arviointilohkottainen menetelmä on keskitetympää kuin metsälöittäinen menetelmä, missä metsälön puitteissa joudutaan kulkemaan pitkiäkin matkoja palstalta toiselle, jolloin palstojen lukumäärä tulee vaikuttavaksi tekijäksi. Palstojen määrä Pohjanmaan metsien inventoinnissa on esitetty taulukossa 4.

Keskimääräinen palstaluku oli Etelä-Pohjanmaan metsänhoitolautakunnan alueella 3.0 ja Vaasan alueella 3.3. Tutkimuksen kaikissa vaiheissa ilmeni, että teknilliset arviointiolosuhteet olivat Vaasan alueella vaikeammat kuin Etelä-Pohjanmaalla. Tämä koskee myös palstojen lukumäärää työn edistymiseen vaikuttavana tekijänä. Lukuisat palstat, erityisesti jos ne sijaitsevat hajallaan, vähentävät tehollista työaikaa ja sitä enemmän, mitä kauemmin palstoja joudutaan etsimään. Sattui usein, ettei metsälön omistajakaan löytänyt palstansa rajoja ja varsinkaan rajapyykkejä ennenkuin vasta pitkän etsinnän jälkeen.

4. Keskitunnukset ja niiden vaihtelu sekä keskivirheet

41. Metsäpinta-ala

Keskitunnuksista ovat tässä mukana metsäpinta-ala, metsä- ja metsäisyysprosentti sekä puuston kuutiomäärä. Metsäpinta-ala käsitellään kahtena ryhmänä. Toinen on veroluokituksen mukainen tarkistettu metsäala ja käsittää se kasvulliset kangas- ja turvemaat sekä kitumaan kallioista ja soista ne metsiköt, joissa keskimääräinen kasvuluku on tutkimusalueeseen kuuluvalla 4. metsäveroalueella vähintään 0.4 m^3/ha vuodessa ja 6. metsäveroalueella vähintään 0.6 m^3/ha vuodessa (V ä ä n ä n e n 1965). Metsäalan toinen ryhmä on inventoinnin mukainen metsä- ja kitumaan yhteinen pinta-ala. Inventoinnissa tarkoitettiin metsämaalla sellaista puun kasvattamiseen käytettyä tai käytettävissä olevaa maata (lehtoa, kangasta tai suota), jolla puuston keskimääräinen vuotuinen kasvu oli suotuisimpien olosuhteiden vallitessa ja 100 vuoden kiertoaikaa käytettäessä vähintään 1 m^3/ha kuoretta. Kitumaalla tarkoitettiin sellaista maata (kiviperäistä tai kalliomaata, suota, hietikkoa, laki- tai tunturimaata), jolla puuston kasvu edellä mainituilla edellytyksillä oli 1.0—0.1 m^3/ha (K u u s e l a 1965, s. 4). Kuten edellä esitetystä ilmenee, kuuluu metsäverotusperusteiden mukaiseen joutomaahan osa inventointiohjeiden mukaista kitumaata.

Taulukosta 5 nähdään eri ositteiden ja koko alueen metsälöiden keskipinta-alat. Vaasan metsänhoitolautakunnan alueella keskikoko oli veroluokituksen mukaan 62 prosenttia Etelä-Pohjanmaan metsälökoosta. Inventoinnin mukaan sama prosentti oli 58. Myös osittaittain laskettujen prosenttien erot olivat samansuuntaiset. Vaasan alueella metsälöiden eri tavoilla saadut pinta-alat olivat lähempänä toisiaan kuin Etelä-Pohjanmaalla, mikä ilmenee vaihteluvälin, hajonnan ja variaatiokertoimen arvoista.

Inventoinnin tulosten mukainen metsäala veroluokitusalaa suurempana ja huonoja metsämaita vaihtelevasti sisältävänä on lisännyt vaihtelua. Asia on näin erityisesti isoissa osittaissa, mutta myös lautakuntien alueittain, minkä osoittaa variaatiokertoimen suureneminen 23:sta 29:ään Etelä-Pohjanmaalla ja 19:sta 22:een Vaasassa.

Taulukko 5. Metsälöiden keskipinta-ala ja vaihtelutunnukset.
Table 5. Mean forest area of holdings and variation characters.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	Keskipinta-ala, veroluokituksen mukaan, ha *Mean forest area by taxes classification, hectar*	Vaihteluväli *Range*	Hajonta *Standard deviation*	Variaatiokerroin *Coefficient of variation*	Metsä- + kitumaan pinta-ala inventoinnissa, ha *Forest plus dwarfed land area in inventory, hectar*	Vaihteluväli *Range*	Hajonta *Standard deviation*	Variaatiokerroin *Coefficient of variation*
— 4.99	E-Po	2.52	3.94	1.75	69	5.1	5.9	3.0	59
	Vaasa	2.46	1.51	—	—	2.3	1.7	—	—
5.00— 19.99	E-Po	13.08	13.23	3.40	26	14.5	22.6	1.6	11
	Vaasa	12.75	14.08	[1]) 5.71	[1]) 49	14.7	19.8	[1]) 6.7	[1]) 46
20.00— 49.99	E-Po	31.85	29.50	8.28	26	36.6	65.4	12.8	35
	Vaasa	32.50	25.60	6.43	20	33.9	31.6	7.6	22
49.99— 99.99	E-Po	64.49	41.45	13.28	20	74.7	79.5	20.6	28
	Vaasa	55.94	10.31	4.11	7	61.4	22.8	7.7	12
100.00—199.99	E-Po	137.60	71.38	30.71	22	162.3	160.7	48.8	30
	Vaasa	118.96	42.74	23.94	20	117.0	44.6	22.8	19
200.00+	E-Po	312.37	184.21	75.89	24	343.0	227.4	88.8	26
	Vaasa	—	—	—	—	—	—	—	—
Keskimäärin *Average*	E-Po	52.52	418.78	12.30	23	60.2	460.1	17.3	29
	Vaasa	32.73	144.85	6.12	19	34.9	141.5	7.8	22

[1]) Ositteet 0—4.99 ha ja 5.00—19.99 ha yhdessä — *Strata 0—4.99 hectar and 5.00—19.99 hectar together.*

Valittaessa keskipinta-alojen tilastollisen luotettavuuden laskentamenetelmää oli otettava huomioon näytteen ottotapa. Koska kysymyksessä oli luokiteltu satunnaisnäyte (stratified random sample), oli eräs mahdollisuus käyttää vastaavaa kaavaa (esim. Freese 1962, s. 30):

$$E_{(M)} = \sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{h=1}^{p} \left[\frac{N_h^2 \, s_h^2}{n_h} \left(1 - \frac{n_h}{N_h} \right) \right]}$$

Tämä kuitenkin katsottiin tutkimuksen tarkoitukseen sopimattomaksi, etenkin sen vuoksi, että pienimmästä ositteesta oli sen vähäisen metsätaloudellisen merkityksen vuoksi otettu vain muutama näyte, vaikkakin perusjoukon lukumäärä tässä ositteessa oli erityisen suuri (taulukko 1). Parhaaksi menettelyksi katsottiin laskea keskivirhe jokaiselle ositteelle ja painottaa näin saatuja keskivirheitä perusjoukon pinta-aloilla, kun oli kysymys pinta-alajakaantumasta esim. seuraavasti (vrt. Mäkinen 1964, s. 92):

$$E_{(M)} = \frac{1}{a} \sqrt{\sum_{h=1}^{p} \left(a_h \, \varepsilon_h\right)^2},$$

missä a = perusjoukon pinta-ala
p = ositteiden lukumäärä
a_h = ositteen h perusjoukon pinta-ala
ε_h = ositteen h keskivirhe.

Näin laskien saatiin keskivirheet:

Mhlk	Metsäala keskiarvo ja keskivirhe	Metsä- ja kitumaan ala keskiarvo ja keskivirhe
E-Po	52.5 ± 0.7 ha eli 1.3 %	60.2 ± 0.7 ha eli 1.2 %
Vaasa	32.7 ± 0.8 ha eli 2.4 %	34.9 ± 1.0 ha eli 2.9 %

Yksinkertaiset absoluuttiset keskivirheet ovat likipitäen samansuuruiset, mutta suhteellisesti ne ovat Vaasan alueella noin kaksinkertaiset Etelä-Pohjanmaahan verrattuna.

42. Metsäisyys- ja metsäprosentti

Metsän tai metsätalouden merkitystä jonkin maan elinkeinoelämässä tarkasteltaessa ilmoitetaan usein yksinkertaisesti, kuinka paljon maa-alasta on metsätalouden käytössä. Tällä tiedolla on merkitystä ainakin sikäli, että sen perusteella on mahdollisuus edes jossain määrin arvostella metsätalouden harjoittamisen luontaisia mahdollisuuksia suurissa puitteissa.

Tässä tutkimuksessa metsäisyysprosentilla tarkoitetaan veroluokituksen mukaisen metsämaan osuutta koko maa-alasta. Metsäprosentilla taas tarkoitetaan inventoinnissa saatua metsämaan osuutta metsätalousalasta eli metsämaan, kitumaan ja metsätalouden joutomaan summasta. Taulukossa 6 on esitetty ositteittaiset keskiarvot.

Metsäisyysprosentti suurenee yleensä metsäpinta-alan kasvaessa, koska peltopinta-ala ei lisäänny samassa määrin kuin metsäala. Kahdessa pienimmässä ositteessa metsämaan osuus on hieman yli puolet koko maa-alasta ja se suurenee tilakoon kasvaessa.

Vaasan metsänhoitolautakunnan alueella metsäisyysprosentti oli Etelä-Pohjanmaan prosenttia suurempi. Joutomaan määrä lienee tähän vaikuttava tekijä. Joutomaata oli Etelä-Pohjanmaalla suhteellisesti noin kaksinkertaisesti Vaasan alueeseen verrattuna (Ilvessalo 1957, s. 16). Sitä vastoin peltoala oli Vaasan alueella noin 2 prosenttia suurempi. Valtakunnan metsien III inventoinnin mukaan kasvullisen ja huonokasvuisen metsämaan yhteinen määrä oli Vaasan alueella 66.0 % ja Etelä-Pohjanmaalla 63.9 % (Ilvessalo m.t. s. 16).

Taulukko 6. Metsäisyys- ja metsäprosentit ja vaihtelutunnukset.
Table 6. Wooded and forest percentages and variation characters.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	Metsäisyys- % *Wooded percentages*	Vaihteluväli *Range*	Hajonta *Standard deviation*	Variaatiokerroin *Coefficient of variation*	Metsä- % [2] *Forest percentages*	Vaihteluväli *Range*	Hajonta *Standard deviation*	Variaatio kerroin *Coefficient of variation*
— 4.99	E-Po	27.9	44.1	20.5	73	73.3	59.2	30.0	41
	Vaasa	63.9	46.3	—	—	100.0	0	—	—
5.00— 19.99	E-Po	55.4	72.6	20.8	38	78.7	78.0	23.2	29
	Vaasa	55.5	78.5	[1] 23.4	[1] 35	85.2	67.7	[1] 16.6	[1] 19
20.00— 49.99	E-Po	58.7	54.9	12.0	20	75.2	54.4	5.3	7
	Vaasa	64.7	42.1	10.7	16	79.3	54.4	14.4	18
50.00— 99.99	E-Po	63.4	65.9	17.4	27	69.6	54.9	18.1	26
	Vaasa	69.7	24.0	8.0	11	79.8	33.1	10.6	13
100.00—199.99	E-Po	59.4	45.0	14.2	24	66.7	39.8	12.3	18
	Vaasa	84.1	13.0	7.2	9	89.2	11.6	6.4	7
200.00 +	E-Po	72.9	37.4	14.0	19	71.2	36.5	15.2	21
	Vaasa	—	—	—	—	—	—	—	—
Keskimäärin *Average*	E-Po	58.6	85.5	15.7	27	73.8	78.0	13.9	19
	Vaasa	63.6	61.4	13.9	22	81.8	67.7	14.2	17

[1]) Ositteet 0—4.99 ha ja 5.00—19.99 ha yhdessä. — *Strata 0—4.99 hectar and 5.00—19.99 hectar together.*
[2]) Katso selitystä sivulla 15. — *See declaration on page 34.*

Metsäprosentit ovat edellisiä suuremmat, mikä johtuu tämän prosentin määritystavasta. Myös metsäprosentti on Vaasan alueella suurempi kuin Etelä-Pohjanmaalla.

Vaihtelutunnuksia tarkasteltaessa voidaan todeta vaihtelun pienentyvän metsälökoon kasvaessa ja olevan myös pienempää metsäprosentin kuin metsäisyysprosentin kohdalla. Edelleen se on Vaasan alueella vähäisempää kuin Etelä-Pohjanmaalla.

Kun vaihtelutunnusten perusteella lasketaan tarpeelliset näytemäärät tietyn tarkkuuden saavuttamiseksi, saadaan seuraava lukusarja:

Mhlk		Metsäisyysprosentti metsälöiden lukumäärä, kun yksinkertainen keskivirhe on 1,5 tai 10 %	Metsäprosentti
E-Po	1 %	729	361
Vaasa		484	289
E-Po	5 %	29	14
Vaasa		19	12
E-Po	10 %	7	4
Vaasa		5	3

43. Kuutiomäärä

Metsämaan puuston keskikuutiomäärä on Vaasan alueella 20 m³/ha suurempi kuin Etelä-Pohjanmaalla. Ero on 28 %. Myös jokaisessa metsälöluokassa Vaasan alueella puuston keskikuutio on selvästi suurempi. Metsälökohtainen kokonaiskuutiomäärä on lautakuntien keskiarvona Etelä-Pohjanmaalla suurempi, mutta se johtuu metsälöiden suuremmasta keskikoosta (vrt. taul. 5).

Metsälökoon vaikutus puuston keskikuutioon ilmenee taulukosta 7. Jos jätetään ottamatta huomioon pienin osite sen vähäisen näytemäärän johdosta, voidaan taulukon perusteella päätellä, että keskikuutio suurenee tiettyyn pinta-alaan saakka, minkä jälkeen seuraa pysähdys tai lievä lasku. Esimerkiksi Vaasan alueella tällainen taitekohta näyttäisi sattuvan kahden viimeisen ositteen kohdalle, kun taas Etelä-Pohjanmaalla suurin keskikuutio on ositteessa 20—50 ha.

Tällaisen jakaantuman pääasiallisin syy lienee se, että pienillä metsälöillä joudutaan puustoa rasittamaan enemmän kuin vähän suuremmilla

Taulukko 7. Puuston keskikuutio metsämaalla, m³/ha kuorineen ja kokonaiskuutiomäärä.

Table 7. Mean volume on the productive forest land cu.m. per ha. incl. bark and total growing stock.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	Keskikuutio *Mean volume*	Vaihteluväli *Range*	Hajonta *Standard deviation*	Variaatiokerroin *Coefficient of variation*	Kokonaiskuutiomäärä *Total growing stock*	Vaihteluväli *Range*	Hajonta *Standard deviation*	Variaatiokerroin *Coefficient of variation*
— 4.99	E-Po	64.1	122.8	65.6	102.2	269	199	101	38
	Vaasa	112.3	46.2	—	—	269	81	—	—
5.00— 19.99	E-Po	70.6	132.6	30.9	44	862	1 307	355	41
	Vaasa	92.4	102.3	[1]) 34.5	[1]) 37	1 204	2 223	[1]) 700	[1]) 58
20.00— 49.99	E-Po	80.4	128.5	30.1	37	2 432	4 456	1 150	47
	Vaasa	89.3	83.0	23.2	26	2 651	3 215	838	32
50.00— 99.99	E-Po	68.1	79.2	23.4	34	4 251	7 165	1 631	38
	Vaasa	98.2	59.9	19.7	20	5 332	3 092	1 044	20
100.00—199.99	E-Po	59.4	81.5	24.9	42	8 062	13 065	3 515	44
	Vaasa	88.5	64.0	32.2	36	9 941	10 077	5 468	55
200.00+	E-Po	55.7	37.9	18.8	34	16 575	13 035	5 256	32
	Vaasa	—	—	—	—	—	—	—	—
Keskimäärin *Average*	E-Po	72.4	143.0	29.0	40	3 378	24 031	1 385	41
	Vaasa	92.4	102.3	26.2	28	2 859	15 979	955	33

[1]) Ositteet 0—4.99 ha ja 5.00—19.99 ha yhdessä. — *Strata 0—4.99 hectar and 5.00—19.99 hectar together.*

tiloilla, joilla myös maatalouden antamat tulot merkitsevät suhteellisen paljon koko maatilataloudessa. Keskikuution pieneneminen suurilla tiloilla johtunee suurelta osalta näiden keskimäärää laihemmista metsämaista, mitä päätelmää aikaisemmat tutkimukset tukevat (esim. Linnamies 1943; M. Ilvessalo—Mäkinen 1962 ja Mäkinen 1962).

Vaikka keskikuutiomäärä on Vaasan alueen metsälöillä suurempi kuin Etelä-Pohjanmaalla, niin keskikuutioiden vaihtelu on siellä selvästi pienempi kuin viimeksi mainitulla alueella. Variaatiokerroin on Vaasan alueella 28 ja Etelä-Pohjanmaalla 40. Kokonaiskuutiomäärän vastaavat arvot ovat 33 ja 41.

Sivulla 14 on esitetty tutkimuksessa käytetty keskivirheen laskentamenetelmä. Kuutiomäärän kohdalla ositteittaisten keskivirheiden painotus oli mahdollista suorittaa pinta-alan sijasta perusjoukon kokonaiskuutiomäärillä. Koska puuston keskikuutio on riippuvainen tilakoosta (taulukko 7), niin painotuksessa on oikein ottaa pinta-alan lisäksi huomioon puuston määrä eri ositteissa. Kunkin ositteen perusjoukon kokonaiskuutiomäärä saatiin perusjoukon pinta-alan ja ositteen keskikuution tulona.

Selostetut keskivirheen laskentamenetelmät perustuvat ositettuun otantaan ja keskitunnusten vaihteluun poiketen kuitenkin tyypillisestä tapauksestaan painotuksen osalta. Kun yksityisiä koealatuloksia ei ole laskettu, ei ole ollut mahdollista käyttää hyväksi koealoittaisia vaihteluita. Edellä esitetyllä menetelmällä saataneen kuitenkin käyttökelpoinen arvio keskivirheen suuruusluokasta (Mäkinen 1964).

Keskikuution keskivirheet mainituilla kahdella tavalla laskien olivat seuraavat:

mhlk	Ositettu otanta painotus perusjoukon pinta-alalla	kokonaiskuutiomäärällä
E-Po	2.9 m³/ha ∽ 4.0 %	3.1 m³/ha ∽ 4.3 %
Vaasa	3.5 m³/ha ∽ 3.8 %	3.5 m³/ha ∽ 3.8 %

Keskivirheet ovat kummankin lautakunnan osalta likipitäen samansuuruisia. Yksinkertainen keskivirhe vaihtelee lasketuilla tavoilla 3.8—4.3 prosenttiin. Kun tilastollisen tarkkuuden luotettavuus on kuitenkin ilmaistava vähintään kaksinkertaisen keskivirheen rajoissa, on tutkimuksen keskikuution tarkkuus 95 prosentin luotettavuudella ± 7—9 prosentin välillä. Mikäli keskivirheet laskettaisiin Mäkisen (1954, s. 95) esittämällä tavalla, saataisiin virhearviolle suuruusluokka, mikä olisi 10—20 % edellistä pienempi.

Jos lasketaan tarvittavat näyteyksilömäärät, kun keskikuution yksinkertaiseksi keskivirheeksi otetaan 1, 5 ja 10 %, saadaan seuraavat tilaluvut:

	Metsälöiden määrä, kun yksinkertainen keskivirhe on			
1 %	E-Po	1 600 kpl	Vaasa	784 kpl
5 %	»	64 »	»	31 »
10 %	»	16 »	»	8 »

Lautakuntia edustavan ns. keskiarvometsälön kokonaiskuutiomäärän keskivirhe laskettiin vain ositteille saatuja keskivirheitä perusjoukon kokonaiskuutiomäärällä painottaen. Kokonaiskuution yksinkertainen keskivirhe oli Etelä-Pohjanmaalla 121.8 m^3 eli 3.6 % ja Vaasan alueella 140.0 m^3 eli 4.9 %.

5. Muut tunnukset tilojen suuruusluokittain

51. Maankäyttölajit

Maankäyttölajeista on taulukkoon 8 otettu mukaan metsä-, kitu- ja joutomaa. Maatalousmaa on jätetty pois.

Alle 5 hehtaarin ositteeseen kuuluvien näytemetsälöiden vähäisyyden vuoksi ositteen tuloksia ei voida täysin yleistää kaikkia tämän suuruusluokan tiloja koskevaksi. Kun pienin ositeryhmä jätetään tarkastelun ulkopuolelle, on inventoinnin tulosten perusteella todettava, että täysin selvää riippuvuutta ei ole havaittavissa metsälön koon ja maankäyttölajien suhteellisten osuuksien välillä. Kuitenkin Etelä-Pohjanmaalla metsämaan osuus on suurimmillaan 20—50 hehtaarin tiloilla. Tässä ryhmässä joutomaan osuus on vuorostaan pienin ja kasvaa selvästi isoilla metsälöillä. Kitumaan prosenttiluvuissa ei ole suuria eroja.

Taulukko 8. Maankäyttölajit.
Table 8. Classes of land utilization.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	Metsämaata *Productive forest land*	Kitumaata *Dwarfed land*	Joutomaata *Waste land*	Yhteensä *Total*
		% — *Per cent*			
— 4.99	E-Po	66.9	18.2	14.9	100.0
	Vaasa	100.0	—	—	100.0
5.00— 19.99	E-Po	69.0	16.5	14.5	100.0
	Vaasa	80.5	13.6	5.9	100.0
20.00— 49.99	E-Po	72.1	18.4	9.5	100.0
	Vaasa	76.3	14.2	9.5	100.0
50.00— 99.99	E-Po	66.1	16.3	17.6	100.0
	Vaasa	78.0	13.9	8.1	100.0
100.00—199.99	E-Po	62.9	15.8	21.3	100.0
	Vaasa	89.0	5.4	5.6	100.0
200.00+	E-Po	70.9	13.6	15.5	100.0
	Vaasa	—	—	—	—

Vaasan metsänhoitolautakunnan alueella metsälöryhmien väliset vaihtelut ovat vähäisempiä kuin Etelä-Pohjanmaalla. Metsämaan osuus on myös suurempi ja kitumaan ja erityisesti joutomaan osuudet ovat vähäisempiä.

52. Veroluokat

Maan jakaantuminen veroluokkiin esitetään taulukossa 9.

Metsämaat jaetaan puhtaan tuoton määräämiseksi veroluokkiin siten, että niistä luetaan:

IA luokkaan lehtomaat ja käenkaali-mustikkatyypin maat;
IB luokkaan mustikka- ja talvikkityypin maat;
II luokkaan puolukkatyypin ja variksenmarja-puolukkatyypin maat;
III luokkaan kanervatyypin, variksenmarja-mustikkatyypin, varpu-jäkälätyypin, jäkälätyypin ja paksusammaltyypin maat sekä kasvulliset korpimaat;
IV luokkaan kasvulliset rämemaat;
V luokkaan huonokasvuiset metsämaat.

Milloin maan tuottokyky on kivisyyden, soistuneisuuden tai muun syyn vuoksi oleellisesti alentunut, on maa luettava siihen luokkaan, jonka tuottokyky lähinnä vastaa näin alentunutta tuottokykyä tai joutomaahan.

Inventoinnin mukaan yleisimmät veroluokat ovat II ja III; Vaasan alueen yksityismetsissä jälkimmäinen ja Etelä-Pohjanmaalla edellinen. Vaasan alueella metsämaat ovat kuitenkin keskimäärin rehevämpiä.

Taulukko 9. Veroluokat.
Table 9. Tax classes.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	IA	IB	II	III	IV	V	Yhteensä *Total*
		% — *Per cent*						
— 4.99	E-Po	4.3	15.8	23.7	31.7	11.5	13.0	100.0
	Vaasa	—	40.4	44.7	14.9	—	—	100.0
5.00— 19.99	E-Po	2.0	14.7	33.8	22.6	12.2	14.7	100.0
	Vaasa	4.8	21.4	29.7	30.4	6.6	7.1	100.0
20.00— 49.99	E-Po	0.9	12.8	30.8	22.8	17.7	15.0	100.0
	Vaasa	3.5	17.1	25.9	35.2	7.3	11.0	100.0
50.00— 99.99	E-Po	0.7	9.3	24.6	28.8	20.9	15.7	100.0
	Vaasa	3.0	18.2	30.9	31.9	7.3	8.7	100.0
100.00—199.99	E-Po	0.9	7.6	31.3	28.6	18.2	13.4	100.0
	Vaasa	6.4	15.7	39.0	28.6	4.7	5.6	100.0
200.00+	E-Po	0.2	5.2	31.5	28.7	22.7	11.7	100.0
	Vaasa	—	—	—	—	—	—	—

Kummankin lautakunnan alueella parhaiden maiden veroluokat ovat pienillä metsälöillä yleisempiä kuin suurilla, missä monessa tapauksessa IV ja V veroluokkien osuudet olivat suurimmat. Veroluokituksenkin perusteella näyttää siten ilmeiseltä, että pienillä metsälöillä on keskimäärin rehevämmät metsämaat kuin isoilla metsälöillä.

53. Kehitysluokkarakenne

Pohjanmaan metsälöillä runsaimpina esiintyvät kehitysluokat ovat taulukon 10 mukaan harvennus- ja väljennysmetsiköt, jotka edustavat yhteensä noin 40—60 % metsämaan alasta.

Harvennusasteen metsiköitä on Vaasan alueella vähemmän kuin Etelä-Pohjanmaalla. Eniten harvennusmetsiköitä on metsälöryhmässä 20—50 hehtaaria, mutta myöskään ositteet 5—20 hehtaaria ja 50—100 hehtaaria eivät poikkea paljon ensin mainitusta.

Väljennysmetsiköiden osuus Vaasan alueella on suurin 50—100 hehtaarin luokassa. Etelä-Pohjanmaalla niitä on eri ositteissa kutakuinkin yhtä paljon. Samoin on asia uudistuskypsien metsiköiden kohdalla. Puuttomia aloja, joita esiintyy vähänlaisesti, on eniten 100—200 hehtaarin metsälöillä.

Taulukko 10. Kehitysluokkarakenne.
Table 10. Distribution of development stage classes.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	Kehitysluokka — Development stage class							
		Puuton *Open*	Siemenpuuala *Seed tree stand*	Taimikko *Seedling stand*	Harv. metsikkö *Thinning stand*	Välj. metsikkö *Secretion stand*	Uud. kypsä metsikkö *Regeneration mature stand*	Suojuspuumetsikkö *Shelter wood stand*	Vajaatuott. metsikkö *Underproductive stand*
		Pinta-ala-% — *Forest area per cent*							
— 4.99	E-Po	1.6	—	18.2	33.1	38.0	2.5	—	6.6
	Vaasa	—	—	4.3	17.0	10.6	38.3	8.5	21.3
5.00— 19.99	E-Po	2.6	0.9	10.6	42.1	18.5	4.8	4.5	16.0
	Vaasa	3.0	3.7	6.9	32.4	24.2	11.1	3.1	15.6
20.00— 49.99	E-Po	1.4	1.5	8.2	43.3	21.0	9.7	2.4	12.5
	Vaasa	3.0	2.5	6.7	38.6	17.0	18.1	2.8	11.3
50.00— 99.99	E-Po	2.2	2.1	13.4	42.8	18.8	9.4	2.4	8.9
	Vaasa	4.5	0.8	3.9	28.0	33.1	13.1	1.4	15.2
100.00—199.99	E-Po	3.3	3.6	16.7	31.0	22.8	8.0	5.0	9.6
	Vaasa	11.0	1.4	7.0	29.0	12.0	15.5	1.7	22.4
200.00+	E-Po	1.8	5.0	18.8	28.9	20.2	7.6	9.6	8.1
	Vaasa	—	—	—	—	—	—	—	—

Siemenpuualoja on Etelä-Pohjanmaalla kehitysluokan vähäisestä alasta huolimatta sitä enemmän mitä suuremmasta metsälöstä on kysymys. Suuntaus on samanlainen myös taimikoiden kohdalla. Vaasan alue poikkeaa edellisestä siemenpuumetsiköiden osalta, missä niiden suurin osuus on 5—20 hehtaarin metsälöillä. Tämä johtunee kuivien kankaiden vähäisestä määrästä Vaasan alueella.

Suojuspuumetsiköiden osuus metsälöryhmittäin on kummankin lautakunnan alueella täysin rinnastettavissa siemenpuualojen osuuksiin. Niitä on vain enemmän kuin siemenpuualoja.

Vajaatuottoisia metsiköitä on metsämaan alasta 7—22 prosenttia. Etelä-Pohjanmaalla vajaatuottoisuus lisääntyy metsäpinta-alan pienetessä. Vaasan alueella taas suurimmat prosenttiluvut ovat pienimmässä ja isoimmassa metsälöryhmässä ja pienin luku 20—50 hehtaarin metsälöillä, joten Vaasan alueella ei ole metsälön koosta johtuvaa riippuvuutta havaittavissa.

54. Ikäluokkasuhteet

Ikärakenne esitetään 20 vuoden luokkina ja yli 100 vuotiaat metsiköt on yhdistetty yhdeksi ryhmäksi.

Puuttomien alojen prosentit näkyivät jo taulukosta 10. Taulukon 11 mukaan nuorten metsiköiden osuus on vähäinen ja keski-ikäiset ja myös vanhat metsiköt ovat runsaasti edustettuina.

Taulukko 11. Ikäluokkasuhteet metsämaalla.
Table 11. Proportional distribution of age classes on forest land area.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	Ikäluokka, v. — *Age class, years*							
		Puuton *Open*	—20	21—40	41—60	61—80	81—100	101+	Yhteensä *Total*
		% metsämaan alasta — *Per cent from forest land area*							
— 4.99	E-Po	1.6	13.2	2.5	15.7	47.9	17.4	1.7	100.0
	Vaasa	—	—	6.4	17.0	36.2	25.5	14.9	100.0
5.00— 19.99	E-Po	2.6	3.7	8.0	27.0	35.2	18.8	4.7	100.0
	Vaasa	3.0	1.3	6.7	16.9	31.0	28.8	12.3	100.0
20.00— 49.99	E-Po	1.4	2.9	7.3	16.1	29.9	27.5	14.9	100.0
	Vaasa	3.0	3.2	3.4	17.3	31.5	23.7	17.9	100.0
50.00— 99.99	E-Po	2.2	6.1	8.6	15.0	32.3	22.2	13.6	100.0
	Vaasa	4.5	3.1	2.0	9.8	41.8	27.9	10.9	100.0
100.00—199.99	E-Po	3.3	9.4	7.5	11.7	29.9	22.1	16.1	100.0
	Vaasa	11.0	5.3	5.8	10.7	33.0	13.0	21.2	100.0
200.00+	E-Po	1.8	9.0	11.5	12.5	19.9	29.5	15.8	100.0
	Vaasa	—	—	—	—	—	—	—	—

Edellä on jo todettu, että taimikoita on suhteellisesti sitä enemmän, mitä suuremmista metsälöistä on kysymys. Sama riippuvuus on havaittavissa ikäluokkatarkastelussa alle 20 vuotiaiden metsiköiden kohdalla. Ikäluokkaa 41—60 vuotta, joka käsittää pääosan harvennusvaiheen metsiköitä, on eniten pienillä metsälöillä. Seuraavaa ikäluokkaa on pienillä metsälöillä eniten vain Etelä-Pohjanmaalla. Siellä kuivien kankaiden metsiköissä on vielä 61—80 vuoden iällä harvennusvaihe menossa. Hyvillä kasvupaikoilla on jo uudistusvaihe alkamassa ja näitä reheviä maita on puolestaan Vaasan alueella enemmän kuin Etelä-Pohjanmaalla.

Yli 100 vuotiaat metsiköt ovat suhteellisesti yleisempiä suurilla metsälöillä, joskin poikkeusta tästä esiintyy etenkin Vaasan alueella. Vaikka siis selväpiirteiset uudistushakkuut, jotka ovat johtaneet taimettumiseen, ovat olleet suurilla metsälöillä runsaampia kuin pienillä, on silti vanhojen puustojen osuus edellisissä ryhmissä suuri.

Pienillä metsälöillä runsaampina esiintyvät poiminnanluonteiset hakkuut ovat johtaneet eri-ikäisiin ja rakenteeltaan epämääräisiin metsiköihin, kun taas tasaikäisiä vanhoja metsiköitä on vähän.

55. Puuston kuutiomäärä

Tarkastelun kohteena on metsämaan keskikuutiomäärä puulajeittain ja kehitysluokittain sekä kokonaiskuutiomäärä yhteensä metsä- ja kitumaalla.

Taulukon 12 mukaan männyn keskikuutio on Etelä-Pohjanmaalla suurempi kuin Vaasan alueella, mutta kuusen ja lehtipuun niin paljon pienempi,

Taulukko 12. Keskikuutio puulajeittain metsämaalla.
Table 12. Mean volume on productive forest land by tree species.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Lehtipuu *Hardwood*	Yhteensä *Total*
		m³/ha, kuorineen — *cu.m. per ha. incl. bark*			
— 4.99	E-Po	27.6	33.4	3.1	64.1
	Vaasa	54.8	37.1	20.4	112.3
5.00— 19.99	E-Po	29.2	30.9	10.5	70.6
	Vaasa	21.5	50.6	20.3	92.4
20.00— 49.99	E-Po	36.0	34.7	9.7	80.4
	Vaasa	28.0	46.5	14.8	89.3
50.00— 99.99	E-Po	35.9	20.1	12.1	68.1
	Vaasa	30.0	56.9	11.3	98.2
100.00—199.99	E-Po	33.9	20.3	5.2	59.4
	Vaasa	25.1	40.2	23.2	88.5
200.00+	E-Po	34.9	13.6	7.2	55.7
	Vaasa	—	—	—	—

Taulukko 13. Kokonaiskuutiomäärä puulajeittain metsälöä kohti.
Table 13. Total growing stock by tree species per holding.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Lehtipuu *Hardwood*	Yhteensä *Total*
		m³ ja % — *cu.m. and per cent*			
— 4.99	E-Po	122/45.4	134/49.9	13/ 4.7	269/100.0
	Vaasa	131/48.8	89/33.0	49/18.2	269/100.0
5.00— 19.99	E-Po	373/43.3	363/42.1	126/14.6	862/100.0
	Vaasa	308/25.6	637/52.9	259/21.5	1 204/100.0
20.00— 49.99	E-Po	1 123/46.2	1 017/41.8	292/12.0	2 432/100.0
	Vaasa	869/32.8	1 339/50.5	443/16.7	2 651/100.0
50.00— 99.99	E-Po	2 308/54.3	1 207/28.4	736/17.3	4 251/100.0
	Vaasa	1 728/32.4	2 970/55.7	634/11.9	5 332/100.0
100.00—199.99	E-Po	4 708/58.4	2 644/32.8	710/ 8.8	8 062/100.0
	Vaasa	2 863/28.8	4 464/44.9	2 614/26.3	9 941/100.0
200.00+	E-Po	10 459/63.1	3 961/23.9	2 155/13.0	16 575/100.0
	Vaasa	—	—	—	—

että koko metsämaan keskikuutio jää jokaisessa ositteessa pienemmäksi kuin Vaasan alueella.

Metsälökohtaiset kokonaiskuutiomäärät ja niiden jakaantuminen puulajeihin nähdään taulukosta 13. Männyn osuus on suhteellisesti suurempi kuin sen osuus metsämaan keskikuutiossa, mikä johtuu kitumaan mäntyvaltaisen puuston sisällyttämisestä kokonaiskuutiomäärään. Riippuvuussuhde, jonka mukaan männyn kuutiomäärän osuus lisääntyy metsälökoon kasvaessa, on selvempi Etelä-Pohjanmaalla kuin Vaasan alueella. Prosenttiluku nousee 45:stä 63:een.

Vaasan metsänhoitolautakunnan alueella kuusen osuus on useimmissa metsälöryhmissä yli 50 prosenttia. Lehtipuun osuus eri ositteissa vaihtelee eniten. Sen osuus on 12—26 prosenttia Vaasan alueella ja 5—17 prosenttia Etelä-Pohjanmaalla.

Taulukossa 14 esitetään keskikuutio kehitysluokittain. Puuston määrä siemenpuualoilla on taulukon mukaan samaa suuruusluokkaa jokaisessa metsälöryhmässä, missä tätä kehitysluokkaa esiintyy.

Taimikkojen puuston keskikuutio on sama eri ositteissa pienimpien tilojen ositetta lukuun ottamatta, joissa tämän kehitysluokan kuutio on yli-spuiden vaikutuksesta erityisen suuri.

Harvennusmetsiköiden keskikuutio on Etelä-Pohjanmaalla 50 hehtaaria suuremmilla metsälöillä pienempi kuin alle 50 hehtaarin metsälöillä. Vaasan alueella tämän kehitysluokan puusto vaihtelee sattumanvaraisesti metsälöryhmästä toiseen.

Taulukko 14. Keskikuutio kehitysluokittain.
Table 14. Mean volume by development stage classes.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	Kehitysluokka — *Development stage class*							
		Puuton *Open*	Siemenpuumetsikkö *Seed tree stand*	Taimikko *Seedling stand*	Harvennusmetsikkö *Thinning stand*	Väljennysmetsikkö *Secretion stand*	Uudistuskypsä metsikkö *Regeneration mature stand*	Suojuspuumetsikkö *Shelter wood stand*	Vajaatuott. metsikkö *Underproductive stand*
		Keskikuutio, m³/ha — *Mean volume cu.m. per ha.*							
— 4.99	E-Po	—	—	7.2	40.5	117.9	154.2	—	12.6
	Vaasa	—	—	73.5	127.0	145.6	116.0	100.0	85.6
5.00— 19.99	E-Po	—	15.1	22.9	80.9	101.4	88.4	51.0	54.0
	Vaasa	—	16.9	51.9	102.8	131.7	113.1	51.1	57.1
20.00— 49.99	E-Po	—	20.0	24.0	81.1	108.6	96.1	54.9	76.6
	Vaasa	—	13.3	20.9	93.4	132.9	118.8	52.0	53.2
50.00— 99.99	E-Po	—	11.6	13.2	74.6	103.0	98.8	41.0	50.9
	Vaasa	—	18.5	16.9	102.3	128.7	131.4	69.8	52.9
100.00—199.99	E-Po	—	14.6	10.2	68.9	92.8	91.8	39.1	55.9
	Vaasa	—	22.7	18.8	115.7	138.7	122.6	64.6	74.2
200.00+	E-Po	—	13.3	17.9	61.7	87.8	95.6	53.7	45.8
	Vaasa	—	—	—	—	—	—	—	—

Väljennysmetsiköiden keskikuutio on harvennusmetsiköitä suurempi ja metsälöryhmittäiset erot ovat samanlaiset kuin edellä.

Uudistuskypsissä metsiköissä keskikuutio on pienempi kuin väljennysmetsiköissä ja metsälöryhmien väliset erot ovat vähäisiä.

Suojuspuustojen ja vajaatuottoisten metsiköiden keskikuutio on miltei yhtäsuuri. Vajaatuottoiset metsiköt käsittävät hyvin erilaisia ryhmiä, kuten yli-ikäisiä ja puulajiltaan muutettavia metsiköitä, jotka molemmat saattavat olla suurikuutioisia ja selviä jätepuustoja, jotka ovat erittäin pienikuutioisia. Näiden eri ryhmien esiintymisrunsaudesta riippuu, millaiseksi kehitysluokan keskikuutio kokonaisuudessaan muodostuu.

56. Metsänhoidollinen tila

Pohjanmaan metsien koeinventoinnissa jaettiin metsiköt metsänhoidollisen tilan perusteella kuuteen taulukossa 15 esitettyyn luokkaan. Tilaltaan hyvien metsiköiden pinta-ala on Etelä-Pohjanmaalla 17—34 prosenttia ja Vaasan alueella 17—26 %. Etelä-Pohjanmaalla on hyviä metsiköitä suhteellisesti eniten suurilla metsälöillä. Vaasan alueella on hyvien metsiköiden osuus kaikissa ositteissa miltei sama.

Taulukko 15. Metsien metsänhoidollinen tila.
Table 15. Silvicultural condition of the forests.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	Metsänhoidollinen tila — *Silvicultural condition*						
		Hyvä *Good*	Tyydyttävä *Satisfactory*	Harsittu *Selective cutting*	Hoitoa vailla *In needle of treatment*	Lepoa tarvitseva *Improvable with rest*	Vajaatuott. *Unproductive*	Yhteensä *Total*
		% metsämaan alasta — *Per cent of forest land area*						
— 4.99	E-Po	29.8	37.2	14.0	2.5	7.4	9.1	100.0
	Vaasa	25.5	19.2	29.8	—	—	25.5	100.0
5.00—19.99	E-Po	16.5	42.4	11.4	9.0	2.0	18.7	100.0
	Vaasa	18.3	39.0	6.7	15.7	0.6	19.7	100.0
20.00— 49.99	E-Po	23.5	40.9	8.6	11.3	1.5	14.2	100.0
	Vaasa	19.5	39.6	9.6	15.1	2.7	13.5	100.0
50.00— 99.99	E-Po	19.8	49.8	9.2	9.2	0.6	11.4	100.0
	Vaasa	25.9	28.7	6.4	17.6	0.9	20.5	100.0
100.00—199.99	E-Po	33.7	38.3	6.7	6.3	1.8	13.2	100.0
	Vaasa	16.6	24.7	7.1	18.4	0.9	32.3	100.0
200.00+	E-Po	33.5	34.1	5.6	10.6	4.9	11.3	100.0
	Vaasa	—	—	—	—	—	—	—

Hyvät ja tyydyttävät metsiköt edustavat Etelä-Pohjanmaalla metsämaan pinta-alasta yhteensä 64—74 prosenttia ja Vaasan alueella 41—59 prosenttia.

Harsinnalla harventaen on metsiköitä käsitelty suhteellisesti sitä enemmän, mitä pienemmästä metsälöstä on kysymys. Selväpiirteisintä tämäkin suuntaus on ollut Etelä-Pohjanmaalla, missä prosenttiluvut pienenevät 14:sta 6:een metsälön koon kasvaessa. Vaasan alueella ne vaihtelevat 30:stä 6:een.

Verraten runsaina esiintyvät hoitoa vailla olevat metsiköt. Näitä on Vaasan alueella enemmän kuin Etelä-Pohjanmaalla ja yli 50 hehtaarin metsälöillä 2—3 sadannesta enemmän kuin pienemmillä tiloilla.

Lepoa tarvitsevien metsiköiden määrä on vähäinen ja suunnilleen samansuuruinen kaikissa ositteissa.

Vajaatuottoisten metsiköiden ala vaihtelee Etelä-Pohjanmaalla 9—19 prosenttiin ja Vaasan alueella 14—32 prosenttiin.

Metsiköiden laadun perusteella metsälöryhmiä tarkasteltaessa ilmenee jossain määrin eroa metsänhoitolautakuntien välillä. Etelä-Pohjanmaalla pienet metsälöt ovat metsänhoidolliselta tilaltaan jossain määrin huonompia suurempiin tiloihin verrattuna. Vaasan metsänhoitolautakunnan alueella ei samaa eroa ole voitu havaita, vaan päinvastoin kaikkein suurimmat metsälöt ovat olleet pienempiä heikkokuntoisempia.

57. *Metsänhoidollisten toimenpiteiden tarve*

Arvioitaviin metsänhoidollisiin toimenpiteisiin inventoinnissa sisältyi hakkuualan raivaus, maanpinnan valmistus, männyn ja kuusen viljely sekä taimikon hoito. Männyn viljely käsittää sekä pelkästään viljelyn että kulotuksen ja siihen liittyvän viljelyn. Raivaus ja maanpinnan valmistus käsittävät nämä työt vain luontaista uudistamista varten suoritettavina.

Taulukossa 16 esitetään metsänhoidollisten toimenpiteiden tarve sekä sadanneksina että myös keskimäärin metsälöä kohden laskettuina hehtaarimäärinä, jotta nähtäisiin kuinka suurista pinta-aloista on kussakin metsälöryhmässä kysymys.

Pienimmän pinta-alan käsittävä ryhmä on maanpinnan valmistaminen luontaista uudistamista varten. Se ei ole saanut missään ositteessa täyttä prosenttia. Seuraava, mutta vielä hyvin pieni ryhmä on hakkuualan raivaus. Tämän toimenpiteen prosentit vaihtelivat Etelä-Pohjanmaalla 1.7:stä 9.3:een ja suurimmat osuudet olivat isoilla tiloilla. Vaasan alueella prosentit olivat 0.3—1.7 välillä.

Männyn viljelyä ehdotettiin Etelä-Pohjanmaalla 10.0—16.2 % ja Vaasan alueella 12.5—25.3 % metsämaan alasta. Kuusen viljelyä ehdotettiin edellistä vähemmän. Prosentit olivat Vaasan alueella 1.7—10.3 ja Etelä-Pohjanmaalla 0.4—2.6.

Taulukko 16. Metsänhoidollisten toimenpiteiden tarve.
Table 16. Silvicultural measures required.

Osite metsäala, ha *Stratum forest area, ha*	Mhlk *Forestry Board district*	Työlaji — *Task sort*					
		Hakkuualan raivaus *Clearing of cutting area*	Maanpinnan valmistus *Preparation of ground*	Männyn viljely *Artificial pine regeneration*	Kuusen viljely *Artificial spruce regeneration*	Taimikon hoito *Tending of seedling stand*	Ojituksen jälkitöitä *Works done afterwards of draining*
		keskimäärin metsälöä kohden ha ja % metsämaan alasta *average by holding hectar and per cent of forest land area*					
— 4.99	E-Po	—	—	0.4/10.0	0.1/ 2.5	0.5/12.5	0.5/12.5
	Vaasa	—	—	0.3/12.5	0.2/ 8.3	—	—
5.00— 19.99	E-Po	0.5/4.3	0.01/0.1	1.9/16.2	0.3/ 2.6	0.8/ 6.8	0.5/ 4.3
	Vaasa	0.2/1.6	0.1/0.8	1.7/13.6	0.8/ 6.4	0.4/ 3.2	0.4/ 3.2
20.00— 49.99	E-Po	0.5/1.7	0.0/—	3.9/13.4	0.5/ 1.7	1.6/ 5.5	1.5/ 5.1
	Vaasa	0.5/1.7	0.1/0.3	3.6/12.6	0.8/ 2.8	0.9/ 3.1	1.4/ 4.9
50.00— 99.99	E-Po	1.8/3.0	0.2/0.3	6.4/10.7	0.6/ 1.0	5.5/ 9.2	4.6/ 7.7
	Vaasa	0.3/0.6	0.3/0.6	10.4/20.0	0.9/ 1.7	1.2/ 2.3	0.2/ 0.4
100.00—199.99	E-Po	5.7/4.4	0.9/0.7	19.1/14.7	1.1/ 0.8	14.3/11.0	6.2/ 4.8
	Vaasa	0.3/0.3	0.6/0.5	27.9/25.3	11.4/10.3	2.9/ 2.6	9.6/ 8.7
200.00+	E-Po	26.8/9.3	1.4/0.5	33.9/11.8	1.2/ 0.4	40.2/14.0	18.7/ 6.5
	Vaasa	—	—	—	—	—	—

Taimikon hoitoa Etelä-Pohjanmaalla suurilla metsälöillä ehdotettiin enemmän kuin pienillä. Yli 50 hehtaarin metsälöillä luvut vaihtelivat 9 ja 14 prosentin välillä. Taimikon hoidon tarvetta esiintyi siten eri metsälöryhmissä suunnilleen samassa suhteessa kuin tätä kehitysluokkaakin oli näissä ositteissa. Vaasan alueella taimikoita oli vähän, joten taimikon hoitoakin esitettiin vain 2—3 %:lla metsäalasta.

6. Yhteenveto

Kun metsälöittäistä menetelmää verrataan kustannuksiltaan ja tarkkuudeltaan linjoittaiseen tai arviointilohkottaiseen inventointiin, on koearvioinnin tulosten ja kokemusten perusteella todettava, että mikäli kummassakin menetelmässä otetaan yhtä suuri linjasto ja koealanäyte, saadaan tavallisessa linjoittaisessa arvioinnissa tilastollisesti tarkempi tulos. Näin on siksi, että eri tilojen kesken esiintyy suurta vaihtelua, minkä vuoksi tiloittaiset keskiarvotunnukset poikkeavat toisistaan. Linjoittaisessa arvioinnissa tämä vaihtelu tulee paremmin otetuksi huomioon kuin metsälöittäisessä, koska arviointilinjat sattuvat useampien tilojen maille kuin metsälönäytteessä yleensä on tiloja.

Samaan tarkkuuteen pääsemiseksi tarvitaan metsälöittäisessä menetelmässä suurempi linja- ja koealamäärä.

Metsälöittäisessä arvioinnissa tehollinen työaika jää aina pienemmäksi kuin linjoittaisessa menetelmässä. Aikatappioita syntyy siirryttäessä tilalta toiselle ja tilan puitteissa palstalta toiselle. Palstojen muodosta riippuen lisäksi siirtymämittaukset linjalta toiselle saattavat kokonaismäärältään muodostua huomattavan pitkiksi. Epäedullisissa olosuhteissa niistä saattaa kertyä matkaa enemmän kuin varsinaisesta linjan mittauksesta.

Pinta-alojen osalta on korostettava sitä, että mikäli arviointi rajoittuu vain metsätalousmaahan, niin kokonaispinta-alan jakaantumisesta maankäyttölajeittain ei saada tietoja. Maankäyttölajien arvioimiseksi olisi otettava kiinteistönäyte ja suoritettava niillä koko maa-alaa koskeva arviointi.

Metsälönäytettä käytettäessä saadaan taas tulokset talousyksiköittäin, mikä antaa mahdollisuuden tutkia monia sellaisia metsätalouden harjoittamiseen liittyviä ongelmia, joista systemaattinen suuraluenäyte ei anna mitään tietoja. Tämän vuoksi metsälönäytettä käytettäessä tulisi tutkimuksen käsittää useita eri alojen aiheita.

Lähdeviittaukset — References

Freese, Frank. 1962. Elementary forest sampling. Agriculture Handbook No. 232. Washington.

Ilvessalo, Mikko and Mäkinen, Veikko O. 1962. Development of growing stock on farm woodlots of different sizes. — MTJ 55.13.

Ilvessalo, Yrjö. 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. — MTJ 47.1.

—»— 1957. Suomen metsät metsänhoitolautakuntien toiminta-alueittain. Valtakunnan metsien inventoinnin tuloksia. *Summary:* The forests of Finland by Forestry Board Districts. Results of the National Forest Inventory. — MTJ 47.3.

Koeinventoinnin kenttäohjeet. 1963. Metsäntutkimuslaitos, metsänarvioimisen tutkimusosasto. Moniste. Helsinki.

Kuusela, Kullervo. 1960. Maan kuvioiden ja puuston vaihtelu sekä sen vaikutus metsän inventoinnin tarkkuuteen. *Summary:* Variation of the site pattern and growing stock and its effect on the precision of forest inventory. — AFF 72, 3.

—»— 1965. Etelä-Pohjanmaan ja Vaasan metsänhoitolautakunnan alueen metsävarat vuoden 1963 koeinventoinnin tulosten mukaan. *Summary:* Forest resources in the Forestry Board Districts of Etelä-Pohjanmaa and Vaasa according to the experimental inventory of 1963. — FF 8.

Linnamies, Olavi, 1943. Eri suuruisten yksityismetsälöiden metsävaroista ja metsien tilasta. *Referat:* Untersuchungen über die Waldvorräte und den Zustand der Wälder der verschieden grossen Waldbetriebe. — AFF 52.2.

Mäkinen, Veikko O. 1962. Katso Mikko Ilvessalo and Veikko O. Mäkinen. 1962.

—»— 1962. Puuston kehityksestä eri suuruisilla metsälöillä. *Summary:* The development of growing stock on farm wood-lots of different sizes. — MA.

—»— 1964. Yhtenäinen ja metsälöittäinen arviointi metsäalueen inventointimenetelminä. *Summary:* Uniform survey and survey by holdings as methods of forest inventory. — MTJ 58.2.

Nyyssönen, Aarne. 1963. Analysis of two alternative methods for National Forest Inventories in Northern Europe. — AFF 76.6.

—»— ja Karvonen, Pentti. 1965. Vesannon metsät ja niiden hoito-ohjelma. Vuoden 1962 inventointiin perustuva selvitys. Kuopio.

Väänänen, Sulo. 1965. Metsäverotus. — Tapion taskukirja, 15. painos. Helsinki.

LYHENNYKSIÄ — ABBREVIATIONS

AFF = Acta forestalia fennica.
FF = Folia forestalia.
MA = Metsätaloudellinen aikakauslehti.
MTJ = Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae.

VARIATION OF THE CHARACTERISTICS OF FORESTS IN FORESTRY BOARD DISTRICTS OF ETELÄ-POHJANMAA AND VAASA

Summary

Introduction

An experimental inventory of the forests in Ostrobothnia was carried out in 1963 in which various characteristics of the forests were measured according to individual forest holdings rather than as an over-all survey. The main findings of the inventory were published in the Folia Forestalia No. 8 (Kuusela 1965). The results dealing with forestholdings are analyzed also in the present investigation.

The chief purpose of this paper is to share the experiences gained in the experimental forestry-holding inventory and to examine the variation in the major characteristics by presenting them both according to Forestry Board Districts and by the size classes of the forest holdings.

The method used was a relascopic survey along survey lines in the sample holdings. Ocular estimations of area classes were made in connection with the line survey, and stand characteristics were found through measurements of relascope sample plots.

Inventory Data

The forest holdings comprising the basic population of the investigation were listed chiefly on the basis of information obtained from communal tax bureaus by the Department of Forest Economics at the Forest Research Institute, but some parts were checked against information obtained from an agricultural census. Once the population had been recorded, a predetermined number of sample holdings was taken randomly from each size class.

The inventory was carried out in eight parishes in both Forestry Board Districts. The number of holdings in the population with the corresponding forest areas as indicated by the tax registers are presented in Table 1.

A great many changes had occurred in the areas of the sample holdings falling in the various strata of the population in comparison with the areas indicated by the registers. In Table 2 are given the number and areas of sample holdings falling in the different strata according to the corrected areas obtained in connection with the inventory. The areas of approximately one third of the forest-holdings had changed.

Time Usage and Labour Input in Field Work

The number of survey lines and the distances between them were determined in such a way as best to bring out and to clarify the variation between the stands. The numbers of and distances between, the survey lines, length of line measured, and transferring measurements necessary in moving on to a new line are shown in Table 3.

In Etelä-Pohjanmaa the smallest stratum had 14.5 lines and in Vaasa 9.5 lines. There were 36.3 lines per forest-holding in the former and 41.1 lines in the latter.

The distances between the lines were smaller in Vaasa than in Etelä-Pohjanmaa owing to the smaller size of holdings in the former. The working conditions were decidedly more unfavourable in Vaasa than in Etelä-Pohjanmaa.

In addition to the actual line measurement it was necessary to determine the distances involved in shifting from one survey line to another. These transferring measurements clearly took more time the greater the number of lines. Correspondingly, the effective working time was reduced. As shown in Table 3 an average of 1 000 metres of survey line measured required 607 metres of transferring measurement in Etelä-Pohjanmaa and 974 metres in Vaasa.

According to the calculation made halfway through the field work the labour inputs per day were as follows:

Forestry Board District	Measured per day: Line proper, m.	Transferring measurement, m.	Sample plots
Etelä-Pohjanmaa	2 580	1 388	22.1
Vaasa	1 252	1 186	13.0

The markedly smaller figures for the Vaasa area are accounted for by the more unfavourable conditions stated previously.

As the survey teams (a leader + 2—3 measurers) had cars at their disposal, the holdings within a single parish could usually be worked from one or, at most, two lodgements. In the course of covering 159 holdings the teams had driven, on an average, 180 km. per holding, 2.6 km. per hectare of forest land, 3.5 km. per sample plot, 0.03 km. per metre of line measured.

Means, Variation, and Standard Error of Various Characteristics

The means of the following characteristics have been taken into account: 1) forest area, 2) forest percentage, 3) percentage of productive forest land, 4) volume. The forest area is represented in two groups. One of these is the adjusted forest-area, originally reported in the tax rolls, including the productive mineral and peat lands and, in addition, those stands of underproductive forest lands (consisting of rocky grounds and swamps) the average annual yield of which has been 0.4 to 0.6 cu.m. per hectare.

The other group is the combined productive and underproductive forest areas as found in the inventory. As defined for the present inventory, forest land means any such land which is or might be growing trees with an average annual growth of at least 1 cu.m. per hectare, incl. bark, in a 100 years' rotation period; labelled as underproductive, on the other hand, are the lands with 1.0 to 0.1 cu.m. per hectare (Kuusela 1965).

Mean areas of the forest-holdings in the different strata and those of the holdings of the whole district can be seen in Table 5.

In selecting the method for computing of the statistical reliability of the mean areas it was necessary to consider the sampling techniques. As stratified random sampling was the method employed, it would have been possible to use the corresponding mathematical formula (e.g., Freese 1962, p. 30). This was, however, not considered to be appropriate for the purposes of the investigation, especially as only a few samples had been taken in the smallest stratum because of its negligible silvicultural value, although the number of the population in this stratum was extremely high (Table 1).

The method decided upon was to calculate the standard error for every stratum and to weight these standard errors with the areas of the stratified population, since we are dealing with an areal distribution (Mäkinen 1964, p. 92).

In the manner mentioned above, the following standard errors were received:

District	Forest land area	Productive & underproductive forest lands
	Means and standard errors	
Etelä-Pohjanmaa ...	52.5 ± 0.7 ha., or 1.3 %	60.2 ± 0.7 ha., or 1.2 %
Vaasa	32.7 ± 0.8 ha., or 2.4 %	34.9 ± 1.0 ha., or 2.9 %

As seen in Table 6 the forest percentage, by which term is meant in the present investigation the proportion of forest land in accordance with the tax registers and expressed in per cents of the total area studied, is tending to increase as the area of forest land increases. The arable land does not increase as much as the forest land.

The forest percentage in the Forestry Board District of Vaasa is greater than in Etelä-Pohjanmaa. The same applies to the percentage of productive forest land, by which is understood the proportion of productive forest land as obtained in the inventory and expressed in per cent of the silvicultural area, that is, the sum total of the productive and underproductive forest lands plus forest waste land.

An examination of the variation reveals that variation decreases as the stratum increases, and also that it is smaller for the forest percentage than for the percentage of productive forest land. Moreover it is less in Vaasa than in Etelä-Pohjanmaa.

By computing the necessary number of samples for a certain confidence level, the following series of numbers are obtained:

District	Forest percentage	Percentage of productive forest land
	Numbers of holdings when a single standard error is 1,5, or 10 per cent	
Etelä-Pohjanmaa	1 % 729	361
Vaasa	1 % 484	289
Etelä-Pohjanmaa	5 % 29	14
Vaasa	5 % 19	12
Etelä-Pohjanmaa	10 % 7	4
Vaasa	10 % 5	3

The effect of the size of the holding on the volume of the growing stock can be seen in Table 7. Disregarding the smallest stratum on account of its being lightly sampled, the mean volume can be seen to increase to a certain area, after which a halt or slight drop is detected. This is caused, among other things, by the fact that

in small holdings the growing stock is more exposed to exploitation than in larger holdings where the income from agriculture is relatively more important in farm economics. The decrease in mean volume on the largest holdings, on the other hand, can probably be attributed to the inferiority of their forest site types.

The previously mentioned procedure for computing the standard error is based on stratified random sampling and variation in mean characteristics, differing, however, from the typical case in regards to weighting. Since we were concerned with the mean volume of the growing stock, the total volumes of the stratified population can be used as weights in addition to the areas.

The standard errors for mean volumes calculated by the two methods were as follows:

District	Stratified sampling: Weighting by population area	Stratified sampling: Weighting by total volume of population
Etelä-Pohjanmaa	2.9 cu.m./ha. ∽ 4.0 %	3.1 cu.m./ha. ∽ 4.3 %
Vaasa	3.5 cu.m./ha. ∽ 3.8 %	3.5 cu.m./ha. ∽ 3.8 %

As the statistical reliability must be expressed at least within the range of two standard errors, the confidence limits for the mean volume in the present paper will be found to fall at ± 7 to 9 per cent at the confidence level of 95 per cent.

If the amount of sampling units are calculated on the basis of the data stated above, when 1, 5 and 10 per cent are taken as single standard errors for the mean volumes, the following forestholding figures are obtained:

	The numbers of holdings with the single standard error			
1 %	Etelä-Pohjanmaa	1 600	Vaasa	784
5 %	»	64	»	31
10 %	»	16	»	8

Other Characteristics by Farmsize Classes

Some other characteristics have been presented in Tables 8 to 16, such as land utilization groups, tax classes, development classes, age classes, volume of the growing stock, silvicultural condition, and need of silvicultural treatment.

In regard to the land utilization groups it may be mentioned that in small farms the proportion of forest land is greater than in large ones, which in turn have more forest waste land.

On the strength of the tax registers it seems evident that the small farms, on an average, have more fertile forest lands than the larger farms. In the areas of both districts the highest tax classes are more common in small holdings than in big units.

As to the development classes it can be noticed that the seedling stands are relatively the more abundant the larger the holding in question. In view of the age-classes the same observation can be made on the part of the stands less than 20 years old. Likewise, stands over 100 years of age occur relatively more often in big forest holdings, although the variation may be appreciable especially in Vaasa. Selective cuttings, which have been more frequent in small holdings, have contributed to a general untidy stand formation in these so that they are marked to a high degree by an absence of major stocking.

The mean volume of the forest land is presented by tree species in Table 12. According to it the mean volume in pine is greater in Etelä-Pohjanmaa than in Vaasa, but in spruce and hardwoods it is so much smaller that the mean volume in total forest land remains in every stratum smaller in Etelä-Pohjanmaa than in Vaasa.

On the basis of silvicultural condition the stands have been divided into six classes as shown in Table 15. In Etelä-Pohjanmaa well-managed stands occurred mostly in large holdings but no difference was noticed in this respect in Vaasa.

Conclusion

If the method based on units of ownership, i.e. forest holdings, is compared with an inventory by survey lines or tracts for checking of accuracy, it must be concluded on the evidence of the results and experiences gained through the preliminary inventory that a more accurate estimate is assured by the ordinary inventory carried out by survey-lines, supposing that an equal number of lines and samples has been taken by both methods.

In order to achieve the same accuracy by applying the method according to forest-holdings a greater number of lines and samples are necessary.

An inventory by forest-holdings, moreover, is characterized by a loss in actual working time as compared with the method by lines. Time is lost when moving on from one holding to another, and also in the sphere of the same forest property when moving between the separate lots. In addition, depending on the shape of the lot the transferring measurements when moving from one survey line to another are apt to accrue to an appreciable total.

KANGASMAAN TAIMISTON LANNOITUS

P. J. VIRO

MANURING OF YOUNG PLANTATIONS

SUMMARY

HELSINKI 1966

Helsinki 1966. Valtioneuvoston kirjapaino

Sisällysluettelo

	Sivu
Johdanto	5
1959 kokeet	6
1960 kokeet	7
Kokeet Vesijaolla 1961	11
Kokeet Lempäälässä 1961	14
1962 kokeet	15
Kasvihuonekokeet 1963	16
Kenttäkokeet 1963	18
1964 kokeet	21
Yhteenveto tuloksista	22
Loppupäätelmiä	24
Kirjallisuutta	27
English summary	29

Johdanto

Kangasmaat taimettuvat usein vaikeasti, taimien alkukehitys on tunnetusti hidasta ja metsän uudistumisen onnistumista uhkaavat taimettumisvaiheessa monet vaarat. Sen vuoksi uudistumisvaihe olisi saatava mahdollisimman lyhyeksi. Eräänä taimettumisen onnistumista edistävänä ja uudistumista nopeuttavana keinona on nähty lannoittaminen.

Puun taimet tarvitsevat samoja ravinteita kuin muutkin kasvit, mutta eri ravinteiden keskinäiset suhteet ja siitä johtuen käytettävät lannoitemäärät voivat olla erilaiset. Taimien lannoitustutkimuksen ensimmäisenä tavotteena on sen vuoksi ollut saada selville eri ravinteiden kohdalla sopivimmat istutuksen yhteydessä ja nuorissa taimistoissa käytettävät lannoitemäärät. Tässä selostetaan lähinnä vain kokeiden tuloksia ja kiinnitetään vähemmän huomiota havaittujen ilmiöiden syihin. Lannoittaminen on voimakkaasti yleistymässä metsätalouden piirissä ja sen vuoksi kaivataan nopeasti kotimaisiin kokeisiin perustuvaa selvitystä lannoituksen vaikutuksesta puuston eri ikävaiheissa, mutta nimenomaan uudistamisen yhteydessä. Perusteellisen kausaalisen selvityksen katsotaan tässä vaiheessa valmistuvan liian hitaasti.

Ensimmäisissä kokeissa käytetyt lannoitemäärät olivat samaa suuruusluokkaa, joista Englannin vastaavanlaisissa kokeissa lähdettiin (C r o w t h e r ja B e n z i a n 1952). Kokeiden luonteen vuoksi tutkimuksessa käytettiin kustannusten säästämiseksi pieniä koeyksikköjä ja tulosten luotettavuutta pyrittiin lisäämään runsailla toistoilla (C o c h r a n ja C o x 1957). Tulosten merkitsevyyden tarkastelussa käytettiin F- ja t-testiä.

Kokeissa käytettiin seuraavia lannoitteita:

ammoniumsulfaatti, 20.5 % N
kalkkiammonsalpietari, 20.5 % N, puoliksi NH_3- ja NO_3-N
urea, 46 % N
floranid (grotonylidendiharnstoff), 36 % N
magamp (ammoniummagnesiumfosfaatti), 9 % N, 46 % P_2O_5
kotkafosfaatti, 23 % P_2O_5
kaliumsulfaatti, 50 % K_2O
kaliumkloridi, 50 % K_2O

Rikkihappo Oy:n metsä-Y-lannos, 12—8—4 % N—P_2O_5—K_2O
Typpi Oy:n metsä-Y-lannos, 18—12—6 % N—P_2O_5—K_2O
kalkkikivijauhe.

(Nykyään Rikkihappo Oy:n metsä-Y-lannos on saman laista kuin Typpi Oy:n.)

Seuraavassa selostetaan suoritettuja kokeita aloitusjärjestyksessä. Mikäli ei erikoisesti toisin mainita, kokeet on tehty Vesijaolla ja taimet saatu Punkaharjulta.

1959 kokeet

Maa hienohietaista moreenia, MT. Koe tehtiin istuttamisen yhteydessä. Kuusen taimet olivat 2 + 2 v., männyn taimet 1 + 1 v. Koejärjestely 2^3 faktoriaalinen koe, kussakin käsittelyssä 20 tainta. Männiköissä koe toistettiin viidesti levittämällä ravinteet ¼ m^2 alalle maan pinnalle ja neljästi sekoittamalla ravinteet istutuskuopan maahan. Kuusikoissa oli kummassakin lannoitustavassa vain yksi toisto. Istutus ja lannoitus 25. 5.—3. 6.

Lannoitteet tainta kohti: 50 g ammoniumsulfaattia (10 g N), 50 g kotkafosfaattia (11.5 g P_2O_5) ja ½ kg kalkkikivijauhetta. Koe tarkastettiin samana vuonna syyskuussa. Seuraava asetelma osoittaa kuolleiden taimien %-määrän O-ruuduilla ja eri lannoitteiden faktoriaalisen vaikutuksen kuolemiseen. Tarkasteltaessa tulosten luotettavuutta käytettiin sekä näissä että myöhemmissä kokeissa taimien kuolemisen ollessa kysymyksessä arc.sin. x-transformatiota (Hald 1957). Kun yhtään tainta ei ollut kuollut (x = O), asetettiin arvoksi 0.25.

	kuusi		mänty	
	kuoppa-lannoitus	pinta-lannoitus	kuoppa-lannoitus	pinta-lannoitus
O	10 %	5 %	15 %	20 %
N	+84 »	+25 »	+76*** %	+45*** %
P	+ 4 »	0 »	+ 0 %	— 2 »
Ca	— 6 »	—22 »	+ 6 »	—10** »

Nähdään, että kokeessa kuoli paljon lannoittamattomiakin taimia, männyn taimia enemmän kuin kuusen. Typpilannoitus lisäsi taimien kuolemaa erittäin suuresti ja varsinkin silloin kun lannoitteet sekoitettiin istutuskuopan maahan. Kalkki jossain määrin vähensi typen haitallista vaikutusta pinta-lannoituksessa. (Kuusen osalta ei suoritettu luotettavuustarkastelua, koska kokeet oli toistettu vain yhden kerran.)

Kokeessa kuoli jo ensimmäisen kasvukauden kuluessa niin paljon taimia, että sen jatkamista ei pidetty tarkoituksen mukaisena.

1960 kokeet

Lannoitteet. Edellisen vuoden kokeet osoittivat, että käytetyt lannoitemäärät olivat olleet liian suuret. Samoin pidettiin suotavana kokeilla lannoitteita useammilla tasoilla ja lisäksi otettiin kokeiltavaksi myös kali. Kasvupaikka VT—MT, hietainen moreeni. Koejärjestely oli 3^4 faktoriaalinen jaettuna 9 lohkoon. Kussakin yksikössä oli 4 tainta, kuusi 2 + 2, mänty 1 + 1. Luontaisen vaihtelun selvittämiseksi lisättiin kuhunkin lohkoon ylimääräinen käsittelemätön yksikkö, joten kokeessa oli sekä kuusen että männyn kumpaakin lannoitustapaa kohti 40 käsittelemätöntä ja 324 eri tavoin käsiteltyä tainta. Lannoitemäärät tainta kohti olivat seuraavat:

$(NH_4)_2SO_4$ 0, 15, 30 g (0, 3, 6 g N)
kotkafosfaatti 0, 15, 30 g (0, 3.5, 7 g P_2O_5)
K_2SO_4 0, 15, 30 g (0, 7.5, 15 g K_2O)
kalkkikivi 0, 250, 500 g

Taimien kehittymistä seurattiin usein tarkastuksin. Taulukko 1 esittää lannoitteiden faktoriaalista vaikutusta taimien kuolemiseen (%) istutusvuonna sekä neljän vuoden kuluessa. Lannoitteen kohdalla annettu luku ilmaisee n.s. päävaikutuksen *(main effect)*. Kussakin tapauksessa kaikki 3 muuta lannoitetta ovat tasapainotetusti tasoilla 0—2. Merkitsevyys ilmaistaan erona kunkin lannoitteen 0-tasosta.

Kuoppalannoitus. Istutustyö ei ole ollut erikoisen huolellista näissä koesarjoissa, sekä kuusen että männyn lannoittamattomista taimista kuoli istutusvuonna 20—30 %. Lannoitetuista taimista kuoli kuusella keskimäärin 36 %, männyllä 47 %. Neljännen kasvukauden lopussa oli lannoittamattomista kuusen taimista elossa 72 %, männyn 47 %, ja lannoitetuista vastaavasti 51 ja 29 %.

Kuusella sekä typpi- että kalilannoite istutuskuopan maahan sekoitettuna aiheuttivat istutusvuonna runsaasti taimien kuolemista (P yleensä < 0.01). Vaikutus oli istutusvuonna suoraan verrannollinen annostukseen, mutta ero 1- ja 2-annoksen välillä pieneni tai hävisi seuraavina vuosina. Neljän vuoden kuluessa oli typen ja kalin vaikutus taimien kuolemiseen samaa suuruusluokkaa ($P < 0.05$). Kalkin ja fosforin vaikutus taimien eloonjäämiseen oli vähäinen.

Männyn kuoppalannoituksessa oli typen 2-annoksella istutusvuonna erittäin selvä taimia tappava vaikutus ($P < 0.001$), mutta ero 0- ja 1-annoksen välillä ei ollut merkitsevä. Pienempi annos oli siis ilmeisesti vain vähän haitallisen rajan yläpuolella. Kalkin 1-annoksella oli ensimmäisenä vuonna edullinen vaikutus taimien eloonjääntiin ($P < 0.05$). Typen ja fosforin yhteisvaikutus oli epäedullinen ($P < 0.05$). Taimia kuoli seuraavi-

Taulukko 1. Kuolleiden taimien määrä (%) eri käsittelyillä istutusvuonna sekä neljän vuoden kuluttua.

Table 1. Amount (%) of dead seedlings in first and fourth year.

Käsittely *Treatment*	Kuoppalannoitus — *Fertilizer mixed*						Pintalannoitus *Surface spreading*			
	Kuusi *Spruce*		Mänty *Pine*		Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*		Mänty *Pine*	
	1.	1.—4.	1.	1.—4.	KCl	1. vuosi *1st year*	1.	1.—4.	1.	1.—4.
	Taimia kuollut — *Dead seedlings*, %									
N_0	23	35	32	69	11	4	21	31	14	36
N_1	40*	57**	44	71	15	30	14	23	12	38
N_2	45**	55*	63***	82**	18	30	12	22	15	39
P_0	49	50	46	68	11	22	19	27	14	39
P_1	32	50	44	69	19	19	17	26	14	34
P_2	38	47	49	76	26	22	11	23	13	40
K_0	25	40	44	68	22	7	18	27	13	35
K_1	38	52	45	76	15	22	9	20	13	42
K_2	45**	56*	49	69	19	33	20	29	15	36
Ca_0	40	49	53	72	22	26	22	36	12	38
Ca_1	34	50	44*	69	15	22	12*	21*	16	35
Ca_2	34	48	43*	71	19	15	13	19*	13	40

nakin vuosina ja 4 vuoden kuluessa kuoli eniten typellä lannoitettuja taimia ($P < 0.01$). NK-yhteisvaikutus oli myös epäedullinen ($P < 0.05$). Muiden käsittelyjen vaikutus oli pieni, ja kalkin alussa edullinen vaikutus osoittautui ohimeneväksi.

Taimia tuhoutui näissä koesarjoissa niin runsaasti, ettei ole aihetta yksityiskohtaisesti tarkastella lannoituksen vaikutusta taimien kasvuun. Mikäli typpilannoitus ei tappanut tainta, sillä näytti olevan heikko (n. 15 %) pituuskasvua edistävä vaikutus.

Kalium kloridina. Kuoppalannoitukseen liitettiin kummallekin puulajille 3^4 koesarja, jossa K oli kloridina, tarkoituksena selvittää, vaikuttaako kloridi haitallisemmin kuin sulfaatti. Tuloksen luotettavuutta vähentää se, että verrattavat lannoitteet eivät ole samassa koesarjassa. Taimien kuolemisprosentit eri lannoitteiden vaikutuksesta on esitetty taulukossa 1. Kloridisarjoissa kuoli yleensä paljon vähemmän taimia kuin K_2SO_4-sarjoissa, ja sekin häiritsee lannoitteiden vertailua. KCl lisäsi männyn taimien kuolemisen lähes 5-kertaiseksi ja näyttää siltä, että kloridi olisi männylle selvästi myrkyllisempää kuin sulfaatti. Kuusella sitä vastoin kaikki KCl-annokset olivat istutusvuonna tässä suhteessa lähes samanlaiset. Koko tarkkailuaikana 2-annoksen saaneita kuusen taimia kuoli vähemmän kuin 0- ja 1-annoksen saaneita, kun taas sulfaatti jo 1-annoksena selvästi lisäsi taimien kuolemista. Näissäkin kokeissa todettiin käytetyt typpiannokset liian suuriksi.

Tässä kokeessa oli kussakin yksikössä vain yksi taimi, ja sen vuoksi ei katsottu aiheelliseksi suorittaa tulosten luotettavuuden tarkastelua. Kun lisäksi kuusen taimista kuoli 43 % ja männyn 25 %, ei ole syytä esittää myöskään lannoituksen vaikutusta kasvuun.

Pintalannoitus. Lannoite levitettiin 0.5 m^2 alalle. Näissä koesarjoissa kuoli kuusen 0-taimia istutusvuonna 5 %, kolmena seuraavana vuonna 25 %. Lannoitetuista kuusen taimista kuoli istutusvuonna keskimäärin 16 %, kolmena seuraavana 9 %. Männyllä vastaavat luvut olivat 0-taimilla 5 ja 8 %, lannoitetuilla 14 ja 24 %. Lannoitteiden vaikutus kuolemiseen on esitetty taul. 1.

Kuusella 1-annos kalia ja molemmat typpi- ja kalkkiannokset hieman vähensivät taimien kuolemista istutusvuonna (merkitsevyystaso Ca < 0.05, N ja K < 0.1 %), suurempi kaliannos vaikutti epäedullisesti (P < 0.05 %). Fosforin vaikutus taimien kuolemiseen osoittautui pienemmäksi kuin muiden lannoitteiden ja suunnaltaan kuolemista vähentäväksi. Neljän vuoden kuluessa kaikissa ryhmissä kuoli lähes yhtä monta kuusen tainta ja päävaikutuksista ainoastaan kalkin kuolemista vähentävä vaikutus oli merkitsevä, niin kuin seuraavasta kahden-suunnan taulukosta selviää (luvut %):

	N_0	N_1	N_2	K_0	K_1	K_2	P_0	P_1	P_2	M
Ca_0	44	36	28	39	39	31	39	33	36	36
Ca_1	22	14*	25	25	8*	28	28	17	17	21*
Ca_2	28	17	14*	17	14	28	14*	28	17	19*
M	31	23	22	27	20	29	27	26	23	25

Ca_0-taimien kuolemisprosentti oli aina suurin ja toiset lannoitteet tässä ryhmässä vähensivät taimien kuolemista. (Eron merkitsevyys on laskettu kunkin osataulukon 00-arvosta.) Kuusen taimia kuoli yleensä vähiten kun sekä kalkkia että muita lannoitteita annettiin 1-annos.

Männyn taimien kuolemista lannoitus lisäsi, mutta millään lannoitteella ei ollut toisista merkitsevästi eroavaa vaikutusta.

Koetta seurattiin jatkuvasti ja taimien vuotuinen pituuskasvu mitattiin 1961 ja 1963. Taulukoissa 2 ja 3 esitetään taimien pituuskasvu kunkin lannoitteen 0-annoksella ja lannoiteannosten keskimääräinen faktoriaalinen päävaikutus pituuskasvuun eri vuosina sekä yhteensä 3 tai 4 vuoden kuluessa, samoin kuin käsittelemättömien taimien ja kaikkien taimien keskipituus.

Taulukossa 2 esitetään kuusen taimien pituuskasvu kolmena ensimmäisenä vuonna. Neljäntenä vuonna halla tuhosi uudet kasvaimet käsittelystä riippumatta lähes täydellisesti, joten tämän vuoden pituuskasvuluvuilla ei ole merkitystä. Nähdään, että lannoituksen vaikutus pituuskasvuun oli erittäin vähäinen. Tämä näyttäisi johtuvan ainakin osaksi siitä, että halla helpoimmin tuhosi hyötykasvuisimpia kasvaimia. Typellä ja kalilla oli

Taulukko 2. Lannoituksen vaikutus kuusen taimien pituuskasvuun. Pintalannoitus.
Table 2. Effect of manuring on height growth of spruce. Surface spreading.

1.v.	O 4.1 cm	N_0 4.7 cm	P_0 4.5 cm	K_0 4.6 cm	Ca_0 4.2 cm
	M 4.6 »	N_1 +0.3 »	P_1 0.0 »	K_1 —0.1 »	Ca_1 +1.2* »
		N_2 —0.5 »	P_2 +0.1 »	K_2 +0.1 »	Ca_2 0.0 »
2.v.	O 4.5 cm	N_0 5.1 cm	P_0 5.4 cm	K_0 5.3 cm	Ca_0 5.4 cm
	M 5.4 »	N_1 +0.5 »	P_1 +0.1 »	K_1 +0.6 »	Ca_1 —0.2 »
		N_2 +0.5 »	P_2 +0.1 »	K_2 —0.2 »	Ca_2 +0.4 »
3.v.	O 9.6 cm	N_0 8.1 cm	P_0 8.1 cm	K_0 8.2 cm	Ca_0 8.7 cm
	M 8.4 »	N_1 +1.0 »	P_1 +1.0 »	K_1 +0.7 »	Ca_1 +0.2 »
		N_2 —0.1 »	P_2 —0.2 »	K_2 —0.2 »	Ca_2 —1.2 »
1.-3.v.	O 18.0 cm	N_0 17.0 cm	P_0 17.2 cm	K_0 16.8 cm	Ca_0 17.1 cm
	M 17.5 »	N_1 +1.3 »	P_1 +0.7 »	K_1 +1.1 »	Ca_1 +2.0 »
		N_2 —0.1 »	P_2 —0.1 »	K_2 +0.7 »	Ca_2 —1.0 »

Taulukko 3. Lannoituksen vaikutus männyn taimien pituuskasvuun. Pintalannoitus.
Table 3. Effect of manuring on height growth of pine. Surface spreading.

1.v.	O 3.8 cm	N_0 4.7 cm	P_0 4.6 cm	K_0 4.3 cm	Ca_0 4.6 cm
	M 4.8 »	N_1 +0.4 »	P_1 +0.7 »	K_1 +0.6 »	Ca_1 +0.3 »
		N_2 —0.2 »	P_2 —0.2 »	K_2 +0.8 »	Ca_2 +0.3 »
2.v.	O 7.0 cm	N_0 8.4 cm	P_0 8.6 cm	K_0 7.6 cm	Ca_0 7.6 cm
	M 8.1 »	N_1 +0.3 »	P_1 —0.2 »	K_1 0.0 »	Ca_1 +0.1 »
		N_2 —1.3 »	P_2 —1.4 »	K_2 +1.3 »	Ca_2 +1.3 »
3.v.	O 5.2 cm	N_0 8.7 cm	P_0 9.1 cm	K_0 8.2 cm	Ca_0 8.2 cm
	M 8.2 »	N_1 +0.1 »	P_1 —1.4 »	K_1 —0.2 »	Ca_1 —0.1 »
		N_2 —1.5 »	P_2 —1.3 »	K_2 +0.2 »	Ca_2 +0.1 »
4.v.	O 10.0 cm	N_0 11.5 cm	P_0 11.6 cm	K_0 11.3 cm	Ca_0 11.6 cm
	M 11.1 »	N_1 +0.1 »	P_1 —0.8 »	K_1 —0.1 »	Ca_1 —0.1 »
		N_2 —1.2 »	P_2 —0.5 »	K_2 —0.3 »	Ca_2 —1.2 »
1.-4.v.	O 28.6 cm	N_0 33.1 cm	P_0 33.6 cm	K_0 31.3 cm	Ca_0 31.9 cm
	M 31.9 »	N_1 +0.9 »	P_1 —1.9 »	K_1 0.0 »	Ca_1 —0.1 »
		N_2 —4.5 »	P_2 —3.1 »	K_2 +1.9 »	Ca_2 +0.2 »

ilmeinen kasvua parantava vaikutus, mutta jo melko pienten lannoiteannosten kohdalla hallan tuho esti tämän esiin tulon.

Taulukossa 3 nähdään, että männyn taimien pituus lisääntyi lannoituksen vaikutuksesta 4 vuodessa keskimäärin 3.3 cm eli 12 %. Kuitenkin jokaisen lannoitteen yksittäisvaikutus oli hyvin pieni. N_2-annos oli jo ilmeisesti liian suuri. Taulukosta nähdään myös, että lannoituksen vaikutusta ilmeni vain kahtena ensimmäisenä vuonna. Ravinteiden päävaikutuksista oli edullisin N_1, toiseksi edullisin P_0. N_1P_0-käsittelyn saaneiden taimien pituuskasvu oli 4 v:ssa 39.9 cm (0 verrattuna + 38 %). Kaikista suurin oli niiden taimien pituuskasvu, jotka olivat saaneet käsittelyn $N_1P_0Ca_2$, 46.7 cm (+ 63 %). Vaikutukset eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä.

Hallavauriot kuusen taimistoissa. Halla tekee usein tuhoja kuusen taimistoissa. Näillä koealoilla oli halla vahingoittanut n. joka viidennen taimen pääversoa vuosina 1960—62. Vuosittain oli tuhoja keskimäärin 6 %:ssa lannoittamattomista ja 9 %:ssa lannoitetuista taimista. Seuraavat luvut esittävät vuotuiskeskiarvoina, kuinka monen (%) taimen latvakasvain oli vahingoittunut vuosina 1960—62. Kuolleet taimet eivät sisälly lukuihin.

		N_0	9	P_0	10	K_0	12	Ca_0 11
O	6	N_1	7	P_1	10	K_1	8	Ca_1 5*
		N_2	12	P_2	8	K_2	7	Ca_2 11

Lannoitteiden päävaikutukset olivat siis melko pienet. Pienempi typpiannos hieman vähensi, suurempi hieman lisäsi hallan tuhoja. Kali vähensi hallan tuhoja, molemmat annokset likimain yhtä paljon. Myös pienempi kalkkiannos vähensi hallan tuhoja, suurempi lisäsi niitä. Fosforin vaikutus tässä suhteessa oli hyvin pieni, mutta suunnaltaan tuhoa vähentävä. Ainoastaan Ca_1 vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä. Kalkin ja kalin yhteisvaikutusta hallan tuhojen runsauteen kuvaa seuraava kahdensuunnan taulukko (luvut %, eron merkitsevyys laskettu 00:sta).

	K_0	K_1	K_2
Ca_0	17	9	8*
Ca_1	7*	4**	3**
Ca_2	11	12	10

Kalkin ollessa 0- ja 1-tasolla kalilla oli hyvin selvä hallan tuhoja vähentävä vaikutus ja lannoitteiden yhteisvaikutus oli tuhoja vähentävä. Suurempi kalkkiannos vaikutti epäedullisesti; se ilmeisesti aiheutti kasvun elpymistä ja siten alttiutta tuholle. Tätä kalkin epäedullista vaikutusta ei kalilannoitus vähentänyt.

Vuonna 1963 sattui hyvin voimakas hallan tuho, joka vaurioitti 91 % taimista. Millään lannoitteella ei havaittu olevan vaikutusta tuhon runsauteen.

Kokeet Vesijaolla 1961

Tämän vuoden kokeissa käytettiin samaa koejärjestelyä kuin edellisenä vuonna. Kasvupaikka MT, hietainen moreeni. Lannoitemäärät olivat seuraavat:

	kuoppalannoitus	pintalannoitus
$(NH_4)_2SO_4$ ..	0, 5, 10 g (0, 1, 2 g N)	0, 15, 30 g/0.5 m² (0, 3, 6 g N)
Kotkafosfaatti	0, 15, 30 » (0, 3.5, 7 g P_2O_5)	0, 20, 40 » (0, 4.5, 9 g P_2O_5)
K_2SO_4	0, 5, 10 » (0, 2.5, 5 g K_2O)	0, 10, 20 » (0, 5, 10 g K_2O)
$CaCO_3$	0, 300, 600 g	0, 300, 600 g/0.5 m²

Kuoppalannoituksessa (sarja a) olivat kalkin ja fosforin määrät samat kuin edellisenä vuonna, typen ja kalin määrät ⅓ entisistä. Pintalannoituksessa olivat kalin määrät vähän pienemmät, fosforin määrät suuremmat ja typen ja kalkin määrät samat kuin ennen. Kuoppalannoituksessa oli samanlainen sarja käyttäen typpilannoitteena samat määrät kalkkiammonsalpietaria (sarja b). Kokeet tehtiin männyllä ja kuusella. Istutus ja lannoitus 31. 5.—9. 6.

Kuoppalannoitus

Kuusi: Käsittelemättömistä taimista kuoli a-sarjassa 3 vuodessa vain 5 %, b-sarjassa 20 %, joka haittaa sarjojen vertailua. Seuraavissa asetelmissa esitetään kuolleiden taimien määrä (%) eri käsittelyillä. Typen ja kalin kohdalla esitetään myös näiden yhteisvaikutus, fosforin ja kalkin kohdalla vain lannoitteen päävaikutus.

a. NH_4-N

	N_0	N_1	N_2	M
K_0	11	31	42	28
K_1	39	58	64	54**
K_2	61	86	89	79***
M	37	58**	65***	

b. NH_4+NO_3-N

	N_0	N_1	N_2	M
K_0	31	56	81	56
K_1	56	67	72	65
K_2	61	81	94	79***
M	49	68*	82***	

Käytetyt typen ja kalin annokset osoittautuivat edelleen liian suuriksi. Kummankin vaikutus taimien kuolemiseen lisääntyi lähes suoraviivaisesti, ja kalin vaikutus oli selvempi a- kuin b-sarjassa. Eri typpilannoitteiden välillä ei ilmennyt selvää eroa.

	P_0	P_1	P_2	Ca_0	Ca_1	Ca_2
a. NH_4-N	50	56	54	65	50*	45**
b. NH_4+NO_3-N	65	71	63	73	61	65

Fosforin vaikutus taimien eloonjäämiseen ei ollut säännönmukainen. Kalkilla oli tässä suhteessa edullinen vaikutus ja a-sarjassa kalkin kuolemista vähentävä vaikutus oli hyvin merkitsevä ($P < 0.01$). Edullinen vaikutus johtunee siitä, että kalkki esti ammonium- ja kaliumsulfaatin hydrolyysiin liittyvän happamuuden lisääntymisen esiintulon.

Taimien suuren tuhoutumisprosentin vuoksi ei esitetä lannoituksen vaikutusta taimien pituuskasvuun.

Mänty: Käsittelemättömistä taimista kuoli 3 vuodessa a-sarjassa 22 %, b-sarjassa 18 %. Samoin kuin kuuselle, käytetyt kalin ja typen määrät osoittautuivat männyllekin edelleen liian suuriksi ja aiheuttivat taimien kuolemista, joka parhaiten ilmenee seuraavista kahden-suunnan taulukoista (luvut %):

a. NH_4-N

	N_0	N_1	N_2	M
K_0	42	89	86	72
K_1	83	83	92	86*
K_2	86	100	94	93***
M	70	91***	91***	

b. NO_3+NH_4-N

	N_0	N_1	N_2	M
K_0	31	56	81	56
K_1	56	69	75	67
K_2	53	75	92	73**
M	46	67*	82***	

Sekä typen että kalin vaikutus taimien kuolemiseen lisääntyi suoraviivaisesti lannoitteen määrän lisääntyessä. Typen vaikutus oli molemmissa sarjoissa erittäin merkitsevä, kalin vaikutus a-sarjassa erittäin merkitsevä, b-sarjassa hyvin merkitsevä. Myös NK-yhteisvaikutus oli a-sarjassa merkitsevä, b-sarjassa PK-yhteisvaikutus (molemmissa lineaaris-lineaarinen). Kalilannoitteen aiheuttama taimien kuoleminen oli kummassakin sarjassa samaa suuruusluokkaa, mutta NH_4-sulfaatin tuohoava vaikutus oli suurempi kuin kalkkiammonsalpietarin. Jo 1-annos sulfaattia lisäsi taimien kuolemista erittäin merkitsevästi. Typpilannoitteiden vertailua haittaa se, että niitä ei kokeiltu samassa koesarjassa.

Fosforilla ja kalkilla ei ollut selvää vaikutusta taimien elossa pysymiseen:

	P_0	P_1	P_2	Ca_0	Ca_1	Ca_2
a. NH_4-N	88	82	81	85	81	85
b. NH_4+NO_3-N	64	65	66	61	68	65

Edellisen vuoden kokeissa näytti siltä, että kuoppalannoituksessa 15 g kali- tai typpilannoitetta tainta kohti olisi ollut vain vähän myrkyllisen rajan yläpuolella. Vuoden 1961 kokeissa annokset olivat 5 ja 10 g ja kuitenkin pienempikin annos aiheutti runsasta taimien kuolemista. Lannoitettuja taimia kuoli kokeessa niin paljon, että eloonjääneiden koon esittäminen ei ole aiheellista.

Pintalannoitus

Kuusi: Lannoittamattomista taimista kuoli 12 %, lannoitetuista yhtä paljon. Typellä ja kalkilla ei ollut mitään vaikutusta taimien eloonjääntiin. Fosfori ehkä hieman vähensi (14:sta 9:ään %), kali lisäsi (7—16 %) kuolemista. Myös taimien pituuskasvuun 3 vuodessa lannoitteet vaikuttivat hyvin vähän ja aina kasvua vähentävästi, niinkuin seuraavasta asetelmasta nähdään. Mikään asetelmassa esiintyvien lukujen erotus ei ole tilastollisesti merkitsevä.

	N_0 24.2 cm	P_0 24.8 cm	K_0 25.2 cm	Ca_0 26.0 cm
O 27.8 cm	N_1 25.8 »	P_1 24.8 »	K_1 24.4 »	Ca_1 23.7 »
	N_2 24.1 »	P_2 24.5 »	K_2 24.5 »	Ca_2 24.4 »

Mänty: Lannoittamattomista taimista kuoli 10 %, lannoitetuista 17 %. Typpi ja fosfori eivät paljonkaan vaikuttaneet taimien elossapysymiseen. Pienempi kaliannos näytti hieman vähentävän taimien kuolemista, suurempi lisäsi sitä 13:sta 30:een %. Myös kalkki vaikutti epäedulliseen suuntaan, mutta mikään vaikutus ei ollut merkitsevä. Seuraava asetelma esittää taimien pituuskasvua 3 v:ssa:

	N_0 32.1 cm	P_0 32.2 cm	K_0 30.9 cm	Ca_0 33.8 cm
O 29.7 cm	N_1 33.8 »	P_1 30.3 »	K_1 32.2 »	Ca_1 32.3 »
	N_2 33.0 »	P_2 36.6* »	K_2 35.8* »	Ca_2 32.7 »

Lannoitteiden vaikutus taimien pituuskasvuun oli melko pieni, mutta kalin ja fosforin kasvua parantava vaikutus oli kuitenkin merkitsevä ($P < 0.05$). Fosforilla oli kokeessa siis pieni edullinen vaikutus, kalilla sekä edullista että epäedullista vaikutusta, kun taas typen ja kalkin vaikutus oli hyvin vähäinen.

Kokeet Lempäälässä 1961

Myös Lempäälässä Sotavallan kartanossa lannoitettiin istutettuja kuusen taimia. Kasvupaikka OMT, hienohietainen moreeni. Koejärjestely 7×3^4 sekä 7×9 ylimääräistä käsittelemätöntä tainta, eli kokeessa yhteensä 630 tainta. Taimet oli istutettu toukokuussa, pintalannoitus samana vuonna 3.—7. 7. samoilla lannoitteilla ja määrillä kuin edellä Vesijaolla. Käsittelemättömistä taimista kuoli 4 vuodessa 10 %, käsitellyistä jonkin verran enemmän, keskimäärin 17 %. Eri lannoitteiden vaikutus taimien kuolemiseen oli vähäinen. Eniten 18—20 % kuoli N_2-, K_2- tai Ca_2-käsittelyn saaneita taimia. Lannoituksen vaikutus pituuskasvuun 4 v:ssa oli erittäin vähäinen:

	N_0 31.3 cm	P_0 31.4 cm	K_0 31.7 cm	Ca_0 32.0 cm
O 31.1 cm	N_1 32.2 »	P_1 31.6 »	K_1 31.6 »	Ca_1 31.3 »
	N_2 30.8 »	P_2 31.2 »	K_2 31.0 »	Ca_2 31.0 »

Lannoitteiden yhteisvaikutus oli hyvin vähäinen, tehokkaimman, K_1P_1 vaikutus käsittelemättömiin verrattuna +3.7 cm. Mikään vaikutuksista ei ollut tilastollisesti merkitsevä. On huomattava, että näissä kokeissa lannoitteilla ei ollut haitallistakaan vaikutusta kasvuun. Osa kokeesta oli aukossa, osa koivuverhopuuston alla, mutta tämän ei havaittu aiheuttaneen mitään eroa taimien kasvussa tai hallavaurioiden määrässä.

Samaa koejärjestelyä (4×3^4 faktoriaalinen) ja samoja lannoitemääriä käyttäen lannoitettiin 10.—12. 7. Lastusen kartanossa Lempäälässä 5 v. aikaisemmin istutettuja kuusen taimia. Kasvupaikka oli entinen pelto, ki-

vetty hienohieteinen moreenimaa. Kaikkien lannoitteiden vaikutus 4 vuoden pituuskasvuun oli hyvin vähäinen, kalkin negatiivinen, muiden heikosti positiivinen:

	N_0 50.6 cm	P_0 52.2 cm	K_0 52.7 cm	Ca_0 55.2 cm
O 50.0 cm	N_1 55.0 »	P_1 51.7 »	K_1 53.3 »	Ca_1 52.5 »
	N_2 53.5 »	P_2 55.0 »	K_2 51.0 »	Ca_2 51.3 »

Lannoiteyhdistelmistä oli tehokkain Ca_0P_2, jolla käsiteltyjen taimien pituuskasvu oli 9.6 cm (19 %) suurempi kuin kokonaan käsittelemättömien. Mikään yksittäis- tai yhteisvaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Lannoitus ei aiheuttanut taimien tuhoutumista.

1962 kokeet

Typpilannoitteet: Näissä kokeissa verrattiin toisiinsa helppoliukoisia typpilannoitteita ammoniumsulfaattia (AS) ja ureaa (U) sekä uutta vaikealiukoisempaa lannoitetta, floranidia (F). Koska floranidia oli mainostettu lannoitteeksi, joka ei vahingoita kasveja huomattavan suurinakaan annoksina, olivat floranidina annetut N-määrät kolminkertaiset toisiin lannoitteisiin verrattuina. Tarkoituksena oli koettaa saada tehtyä varastolannoitus typellä. Annokset olivat:

AS ja U ..... 0, 2, 4 ja 8 g N/0.5 m²
F ..... 0, 6, 12 ja 24 »

Koejärjestely oli 10 × 10 latinalainen neliö neljästi toistettuna, 2 tainta kussakin yksikössä. Koe tehtiin samanlaisena kuusella ja männyllä. Istutus ja lannoitus 4.—8. 6. Seuraava asetelma esittää taimien kuolemista, latvakasvaimen pituutta ja kuusen hallavaurioita eri käsittelyillä. Eron merkitsevyys on laskettu 0-taimiin verrattuna.

	Kuusi				Mänty		
	1962	1963		62—63	1962	1963	
	Δ H cm	Δ H cm	halla, %	kuollut, %	Δ H cm	Δ H cm	kuollut, %
O	7.79	3.98	2	6	5.80	6.88	17
AS_1	8.50	4.18	7	6	5.85	6.90	31
AS_2	8.30	4.35	5	1	5.75	6.60	30
AS_3	7.80	4.45	9	14*	5.15	6.50	24
U_1	8.20	4.13	9	6	5.77	7.08	34*
U_2	7.60	4.30	3	4	5.67	6.85	26
U_3	8.17	4.45	5	9	5.77	5.08*	30
F_1	8.77*	3.83	7	7	5.57	6.28	31
F_2	8.33	3.88	4	5	5.37	5.65	35*
F_3	7.72	3.88	4	6	5.67	6.50	36*

Lannoituksen vaikutus kasvuun oli siis hyvin pieni eikä eri lannoitteiden välillä ollut mainittavia eroja. Kuusen taimien eloonjäämiseen lannoitteilla ei ollut selvää vaikutusta, mutta suurimmat annokset helppoliukoisia lannoitteita ehkä olivat liian suuret. Vaikutus hallan tuhoihin oli myös pieni. Männyllä molemmat suurimmat floranid-annokset lisäsivät taimien kuolemista, pienin floranidannos vaikutti samalla tavalla kuin suurimmat annokset helppoliukoisia lannoitteita.

Y-lannokset. Toisessa koesarjassa verrattiin Rikkihappo Oy:n (R) ja Typpi Oy:n (T) valmistamia Y-lannoksia. Edellinen sisälsi ravinteita 12—8—4 % (NPK), jälkimmäinen 18—12—6. Edellisessä kaikki typpi oli NH_4-muodossa, jälkimmäisessä ¼ siitä NO_3-muodossa. Koejärjestely oli 7 × 7 latinalainen neliö neljästi toistettuna, kussakin yksikössä 2 tainta. Istutus 4.—5. 6., lannoitus 21. 6. Kummankin lannoksen annokset olivat samat, 15, 30 ja 45 g lannosta 0.5 m^3 alalle. Ravinnemäärät olivat siten T:ssä 50 % suuremmat. Kokeen tulokset olivat seuraavat:

	Kuusi				Mänty		
	1962	1963		62—63	1962	1963	62—63
	Δ H cm	Δ H cm	halla, %	kuollut, %	Δ H cm	Δ H cm	kuollut, %
O	8.23	4.86	0	2	4.52	7.28	12
R_1	7.36	4.58	0	5	4.11	7.60	11
R_2	7.87	4.58	2	9	3.83	7.85	9
R_3	7.72	4.62	2	9	4.52	8.28	11
T_1	8.41	4.84	4	5	4.20	6.95	14
T_2	8.05	4.96	2	13**	4.48	7.36	5
T_3	7.42	4.11	2	13**	4.42	7.37	5

Suurimmat T-annokset lisäsivät kuusen taimien kuolemista ja saman suuntainen tendenssi oli myös R:llä. Männyn taimien kuolemiseen ei R:llä ollut vaikutusta, suurimmat T-annokset mahdollisesti vähensivät kuolemista ($P < 0.10$). Lannoitus mahdollisesti hieman lisäsi kuusen hallanarkuutta. Näissäkin kokeissa lannoituksen vaikutus kasvuun oli vähäinen.

Kasvihuonekokeet 1963

Yleisesti käytettyjen lannoitteiden typpi on hyvin helppoliukoisena, NH_4- tai NO_3-muodossa. Varastolannoitus niillä ei siten tule kysymykseen, varsinkaan ei NO_3-typellä. On tehty paljon kokeita vaikealiukoisten typpilannoitteiden valmistamiseksi ja nyt saatiin kokeiltavaksi floranidin lisäksi toista tällaista, magampia. Alustavat kokeet tehtiin Metsätalon kasvihuoneessa. Maa oli otettu pellon pintakerroksesta, maalaji hieta. Kuhunkin kukkaruukkuun punnittiin 1.3 kg maata. Kokeessa käytettiin yksinomaan typpilannoitteita: AS, KAS, U, magamp (MA) ja floranid (F). Lannoite-

annokset 0, 1, 2 ja 4 g N/astia. Koejärjestely oli arvottu lohko *(randomized block)* kolmesti toistettuna (3 × 16). Kuhunkin ruukkuun istutettiin 2 tainta, joten kutakin käsittelyä edusti 6 tainta. Männyn taimet olivat 1 + 1 v., kuusen 2 + 2 v. Taimet oli saatu Ruotsinkylästä, ne oli syksyllä nostettu valeistutukseen. Koe aloitettiin maaliskuun lopussa. Kuusen taimet olivat talvivarastossa jollakin tavalla vioittuneet; suurin osa niistä kuoli ja koe kuusen kohdalta siten epäonnistui.

Lannoitus tehtiin kahdella tavalla: lannoite sekoitettiin koko ruukun maahan tai sijoitettiin siten, että ruukun pohjalle tuli 2 cm maata, sen päälle lannoite, sitten jälleen 2 cm maata, ja tämän jälkeen istutettiin taimet. Kastelu ruukun alla olevasta astiasta. Valitettavan sekaannuksen vuoksi maa eri sarjoissa oli erilaista hietaa: sarjassa, jossa lannoite oli pohjalla hiesu-savipitoisuus oli 12 %, sarjassa lannoite sekoitettuna 8 %. Jo lannoittamattomien taimien kasvusta oli nähtävissä, että eri lannoitustapoja ei siten voi verrata keskenään. Kokeiden tulokset on esitetty taulukossa 4. Luvut ovat elävien taimien latvakasvaimien keskiarvoja.

Lannoite sekoitettu: Ainoastaan suurin annos kaikkia helppoliukoisia lannoitteita aiheutti männyn taimien kuolemista, erikoisesti U_3. Samat annokset eri lannoitteita aiheuttivat erilaisia reaktioita. Edullisin vaikutus näytti olevan 1- ja 2-annoksilla ammoniumsulfaattia, jonkinverran pienempi vaikutus samoilla annoksilla kalkkiammonsalpietaria ja floranidia. Ureassa jo 2-annos vaikutti epäedullisesti kasvuun. Kaikkien magampannosten vaikutus oli suunnaltaan positiivinen.

Taulukko 4. Eri tavoin lannoitettujen männyn taimien latvakasvain.
Table 4. Terminal shoot of pine seedlings after various manuring.

Käsittely *Treatment*	Lannoite sekoitettu — *Fertilizer mixed*					Lannoite pohjalla — *Fertilizer below roots*				
	Kuollut *Dead*	Pituus *Length* mm	Paino *Weight* mg	Neulaset *Needles* mg	Klorofylli *Chlorophyll* mg	Kuollut *Dead*	Pituus *Length* mm	Paino *Weight* mg	Neulaset *Needles* mg	Klorofylli *Chlorophyll* mg
O	1	40	100	427	1.19	0	71	194	697	2.43
AS_1	0	86**	421***	1 680**	10.30**	1	57	176	1 060	5.22
AS_2	0	85**	385***	1 850**	11.30***	1	77	250	1 860	11.30
AS_3	2	49	124	996	7.52*	6	—	—	—	—
KAS_1	0	88**	323**	1 360*	7.23*	0	61	134	916	4.54
KAS_2	0	67	258*	1 430*	8.88**	5	32	66	781	5.00
KAS_3	1	49	135	825	5.08	6	—	—	—	—
U_1	0	57	199	1 070*	5.96	6	—	—	—	—
U_2	0	32	140	736	4.41	6	—	—	—	—
U_3	5	27	66	434	2.05	6	—	—	—	—
F_1	0	94***	350***	1 430*	7.82*	0	67	144	906	4.41
F_2	0	97***	329**	1 510*	9.24**	0	52	114	830	4.74
F_3	0	59	192	892	4.63	2	51	121	673	4.42
MA_1	0	58	141	991	4.90	0	64	185	1 230	6.35
MA_2	0	58	113	587	2.24	1	70	165	1 310	5.73
MA_3	0	64	169	809	2.06	0	71	157	1 030	4.51

Lannoite pohjalla: Millään lannoitteella ei ollut edullista vaikutusta. Suurin annos helppoliukoisia lannoitteita, ureassa jo 1- ja 2-annos, tappoi kaikki taimet.

Verrattaessa samassa sarjassa kasvureaktion eri kuvaajia huomataan, etteivät niiden väliset suhteet ole aina samat. Näiden kokeiden perusteella ei voi päätellä, mikä mitatuista ominaisuuksista parhaiten kuvaa taimien kuntoa metsittämisessä. Aikaisempien tutkimusten mukaan tiedetään, että klorofyllimäärä on kiinteässä korrelaatiossa kasvuun. Näin ollen esim. neulasmäärä kuvaisi paremmin taimien kuntoa kuin kasvaimen pituus.

Kenttäkokeet 1963

Kenttäkokeissa verrattiin samoja typpilannoitteita ja samanlaista lannoitteiden sijoitusta istuttamisen yhteydessä kuin edellä selostetussa kasvihuonekokeessa. Lisäksi kokeiltiin vanhempien istutustaimien ja luonnon taimien lannoitusta.

Lannoitus istutuksen yhteydessä: Aikaisemmin oli osoittautunut, että tavalliset helppoliukoiset lannoitteet helposti tuhoavat taimet. Uusien lannoitteiden tutkimiseksi järjestettiin koesarja, jossa lannoite sekoitettiin istutuskuopan maahan ja jossa uusia lannoitteita verrattiin ammoniumsulfaattiin. Koeyksikössä oli 4 tainta, koejärjestely latinalainen neliö (10 × 10). Annokset olivat kaikilla lannoitteilla 0, 0.5, 1 ja 2 g tainta kohti. Koe tehtiin sekä kuusella että männyllä. Istutus ja lannoitus 22.—30. 5.

Sekä MA- että F-lannoitteen aiheuttama taimien kuoleminen oli hyvin vähäistä ja aivan sattuman varaista. Sen sijaan AS aiheutti annoksilla 2 ja 3 hyvin selvän kuolemisprosentin lisääntymisen. Erikoisesti kuusen taimet olivat sille herkkiä, niin kuin seuraavat taimien kuolemisluvut (%) osoittavat:

	0	AS_1	AS_2	AS_3	F_1	F_2	F_3	MA_1	MA_2	MA_3
kuusi	15	48**	63***	85***	15	28	18	12	30	20
mänty	3	5	33***	43***	8	0	5	5	3	0

Elossa olevien taimien kahden vuoden pituuskasvu eri käsittelyillä oli seuraava (cm):

	0	AS_1	AS_2	AS_3	F_1	F_2	F_3	MA_1	MA_2	MA_3
kuusi ..	7.7	8.9	7.2	7.5	8.6	7.9	7.3	9.8	10.7	9.8
mänty ..	17.1	17.3	16.3	13.9	19.7	17.7	17.0	17.7	19.4	18.9

Vaikealiukoisilla lannoitteilla ei suurinkaan annos vielä vaikuttanut kasvua hidastavasti (0 verrattuna), AS:n molemmat suurimmat annokset olivat jo ilmeisesti liian suuret. Kaikkien lannoitteiden vaikutus pituuskasvuun oli vähäinen, ja mikään havaituista eroista ei ollut merkitsevä.

Suomen humidissa ilmastossa veden liike maassa tapahtuu ylhäältä alaspäin. Maan pintaan levitetyt lannoitteet kulkeutuvat siten sadeveden mukana kasvien juurille ja, jos annos on ollut liian suuri, voivat vaikuttaa haitallisesti. Sen vuoksi tehtiin koesarja, jossa lannoite sijoitettiin istutuskuopan pohjalle ja peitettiin 2 cm paksuisella maakerroksella. Kokeessa käytettiin samoja kolmea typpilannoitetta kuin edellisessäkin kokeessa sekä lisäksi KAS ja U. Annokset 0, ½, 1 ja 2 g N/taimi. Koejärjestys oli arvottu lohko kuudesti toistettuna (6 × 16), jokaisessa yksikössä 4 tainta.

Kokeen tulokset selviävät seuraavasta asetelmasta. Vaikealiukoiset lannoitteet eivät aiheuttaneet taimien kuolemaa, männyllä suurinta annosta mahdollisesti lukuunottamatta, mutta helppoliukoisia lannoitteita käytettäessä esiintyi ilmeistä liika-annostuksesta johtuvaa taimien kuolemista. AS ja U vaikuttivat molemmat männyn taimiin likimain samalla tavalla, kuuselle AS oli selvästi myrkyllisempi kuin U. KAS:n 2-annos ei vaikuttanut kuusen taimien eloonjääntiin eikä paljonkaan lisännyt männyn taimien kuolemisprosenttia.

	Kuusi		Mänty	
	kuolleita, %	2. v. H-kasvu, cm	kuolleita, %	2. v. H-kasvu, cm
O	12	4.0	4	12.5
AS_1	46*	2.8	15	11.5
AS_2	67***	2.8	54**	10.2
AS_3	71***	3.2	54**	8.9**
KAS_1	21	4.7	8	10.3
KAS_2	17	3.8	19	10.7
KAS_3	58**	2.7*	46**	8.2**
U_1	25	4.8	15	10.2
U_2	38	4.2	50**	11.7
U_3	42*	4.2	46**	11.2
F_1	21	4.5	4	15.2*
F_2	21	4.3	4	12.7
F_3	4	3.5	10	14.2
MA_1	25	3.5	8	12.2
MA_2	21	4.7	4	12.0
MA_3	21	6.8***	25	9.8*

Ensimmäisenä vuonna lannoitus ei juuri vaikuttanut taimien pituuskasvuun ja asetelmasta nähdään, että lannoituksen vaikutus toisena vuonna oli yleensä negatiivinen. Kuusen taimissa on huomion arvoista, että suurin MA-annos oli aiheuttanut parhaan kasvun, mutta muilla lannoitteilla, U lukuunottamatta, se osoittautui liian suureksi. Männyllä F_2 osoittautui edullisimmaksi, ja 3-annos AS ja KAS kasvua vähentäväksi.

Vanhemmat taimet. Mänty, istutettu 2, 3 ja 4 v. sitten. Samat 5 lannoitetta kuin edellä, annokset 0, 1 ja 2 g N tainta kohti kahteen 15 cm syvyiseen kangen reikään 10 cm päässä taimesta. Koejärjestys kussakin ikäluokassa latinalainen neliö (11 × 11). Lannoitettu 7.—12. 6. Noin 30 % AS-lannoituksen saaneista 2-vuotiaista ja 15 % 3-vuotiaista taimista kuoli. Toisilla käsittelyillä, ja myös AS-käsittelyllä 4-v. taimissa, kuolema oli satunnaista. Taimien kahden vuoden pituuskasvu (cm) eri ikäluokissa on esitetty seuraavassa asetelmassa:

	O	AS_1	AS_2	KAS_1	KAS_2	U_1	U_2	F_1	F_2	MA_1	MA_2
2 v.	27.0	21.8	19.3	24.0	21.8	26.2	25.3	26.6	23.2	26.9	22.4
3 v.	28.2	24.3	20.3	25.6	22.9	29.4	25.8	28.6	27.2	28.7	25.6
4 v.	43.6	34.8	26.1	36.3	30.6	35.7	29.4	32.4	30.2	44.5	36.0

Mikään lannoite ei parantanut taimien kasvua, päin vastoin suurempi annos vaikutti aina haitallisesti. 2- ja 3-vuotiaissa istutuksissa vaikuttivat 1-annoksina ainoastaan AS ja KAS haitallisesti kasvuun, 4-vuotiaissa kaikki muut paitsi MA.

Myös luonnon siemennyksestä syntyneitä kuusen taimia lannoitettiin kahdessa kokeessa edellä kuvatulla tavalla. Toisessa kokeessa käytettiin lannoitteina AS, F ja MA, toisessa lisäksi KAS ja U. Koejärjestely oli kummassakin arvottu lohko, edellisessä 14 × 7, jälkimmäisessä 11 × 11. Lannoiteannokset 0, 1 ja 2 g N/taimi. Koepaikan maa oli kivisyydeltään vaihtelevaa hietaista moreenia. Koetaimet lannoitettiin 14—15. 6. Jälkimmäinen koe (11 × 11) toistettiin suorittamalla lannoitus 25. 7. Kasvu vaihteli eri kokeissa suuresti, joten absoluuttisia lukuja ei ole verrattava keskenään. Lannoitusvuoden pituuskasvuun ei lannoitteilla ollut juuri mitään vaikutusta. Seuraava asetelma esittää lannoituksen jälkeisen vuoden pituuskasvua (cm). Eron merkitsevyys on ilmoitettu käsittelemättömistä taimista:

Lannoitus	O	AS_1	AS_2	KAS_1	KAS_2	U_1	U_2	F_1	F_2	MA_1	MA_2
15. 6. ..	28.0	17.9*	17.1*	—	—	—	—	20.7	15.1**	21.1	25.4
14. 6. ..	36.8	29.6	35.4	31.4	25.2	29.8	28.6	33.9	31.3	28.9	32.7
25. 7. ..	12.4	11.9	13.5	11.4	18.9	14.1	14.4	12.5	17.7	16.2	13.5

Lannoitus kesäkuussa ei yhdessäkään tapauksessa parantanut kasvua, mutta eräissä tapauksissa kasvu oli merkitsevästi huonontunut. Heinäkuussa suoritettu lannoitus yleensä hieman paransi seuraavan vuoden pituuskasvua, ei kuitenkaan niin paljon, että erot olisivat olleet merkitseviä. Heinäkuun kokeissa eivät lannoiteannokset ilmeisesti ole olleet liian suuria, sillä suuremman annoksen saaneiden taimien pituuskasvu oli yleensä suurin. On mahdollista, että lannoitteen myrkyllinen vaikutus on pienempi, jos se ei tule kasvien juurille maksimikasvun aikana.

Lannoite sijoitettiin näissä kokeissa maanpinnan alle sen vuoksi, että aikaisemmin oli pintalannoituksella saatu vain heikko vaikutus taimien kasvuun, mutta pintakasvillisuus oli eräissä tapauksissa rehevöitynyt huomattavasti. Kokeen tulokset viittaavat siihen, että melko pienetkin lannoiteannokset maan sisään annettuina saattavat vaikuttaa haitallisesti. Taimien kuolemista tosin aiheutui vanhempia istutustaimia lannoitettaessa yleensä vain satunnaisesti.

1964 kokeet

Kerimäki. Lannoituskohteena oli 2 + 2 + 9-vuotias 60—158 cm pitkä kuusen istutustaimisto, maa hietaista moreenia, OMT. Lannoitteina AS, U, F ja MA, annokset 0, 2, 4 ja 8 g N/0.5 m². Lannoitus kahdesti samoilla määrillä, 16.—22. 6. 64 ja 1.—4. 6. 65. Koejärjestely arvottu lohko 30 × 13. Lannoituksen vaikutus pituuskasvuun (cm) ilmenee seuraavasta asetelmasta:

	0	AS_1	AS_2	AS_3	U_1	U_2	U_3	F_1	F_2	F_3	MA_1	MA_2	MA_3
1. v. . .	19.1	14.7	20.2	15.7	18.2	19.4	16.3	19.6	18.0	15.4	16.4	20.2	16.4
2. v. . .	26.1	27.8	31.9	31.2	29.0	31.8	30.2	28.7	31.5	29.1	25.6	31.3	30.2

Mikään käsittely ei aiheuttanut lannoittamattomasta merkitsevästi poikkeavaa kasvua kumpanakaan vuonna. Parhaiten kasvoivat 2-annoksen saaneet taimet.

Kun aineisto järjestettiin kolmeksi ryhmäksi kahden lannoitusta edeltäneen vuoden pituuskasvun mukaan, oli toisen lannoituksen jälkeisen vuoden pituuskasvu eri ryhmissä 26.1, 26.1 ja 34.4 cm. Ennen lannoitusta parhaiten kasvaneiden taimien kasvu poikkesi merkitsevästi ($P < 0.001$) muista ja kovarianssianalyysi osoitti, että lannoituksen vaikutus oli sitä selvempi ($P < 0.001$) mitä suurempia taimet lannoitettaessa olivat.

Iitti. Näissä kokeissa lannoitettiin 2 v. sitten istutettuja (2 + 0) männyn taimia (KM) sekä 30—110 cm pituisia kuusen (LK) ja 40—100 cm pituisia männyn (LM) luonnon taimia. Kussakin ryhmässä mitatut ja merkityt taimet järjestettiin 3 ryhmäksi (strata) pituuden mukaan ja käsittely arvottiin ryhmittäin. Koejärjestely oli siten stratifioitu arvottu lohko 3 × 15. Lannoitteina käytettiin AS, U, F ja MA. Typpimäärä tainta kohti oli istutetuille taimille 0, 1, 2 ja 4 g N/0.25 m², luonnon taimille 0, 2, 4 ja 8 g N/0.5 m². Koe toistettiin istutustaimilla 5, luonnon taimilla 3 kertaa. Maa oli ohuehko (0.5—1 m) huuhtoutunut moreeni, VT. Lannoitus 3.—6. 6.

Seuraavassa asetelmassa esitetään stratoittain taimien keskimääräinen alkupituus sekä kahden lannoituksen jälkeisen vuoden pituuskasvu (eron merkitsevyys 1-stratan taimien kasvusta).

strata	KM		LM		LK	
	alussa	64+65	alussa	64+65	alussa	64+65
1	23.1 cm	40.0 cm	56.3 cm	59.2 cm	50.8 cm	31.0 cm
2	29.8 »	46.5 » ***	73.0 »	62.9 »	71.8 »	39.7 » *
3	37.8 »	50.6 » ***	90.1 »	70.2 » ***	94.8 »	47.2 » ***

Kaikkien taimien kasvu, myös käsittelemättömien, oli sitä suurempi mitä suurempia ne olivat kokeen alussa. Lannoituksen vaikutus istutusvuoden kasvuun oli hyvin pieni, seuraava asetelma esittää taimien pituuskasvua toisena vuonna (cm, merkitsevyys erona 0:sta):

	O	AS_1	AS_2	AS_3	U_1	U_2	U_3	F_1	F_2	F_3	MA_1	MA_2	MA_3
KM	23.4	26.3	27.7	25.4	21.4	24.8	26.3	25.1	24.3	28.0*	25.2	23.8	24.7
LM	27.4	35.1*	29.6	39.4***	29.1	32.1	36.9**	34.7*	30.8	33.8	30.2	33.7	31.7
LK	22.1	23.4	27.5	25.4	14.9	20.2	17.8	22.6	19.6	20.1	22.3	27.4	22.2

Nähdään, että lannoituksella oli vain vähän vaikutusta istutustaimien ja luonnon kuusentaimien kasvuun. Luonnon männyntaimien kasvu lisääntyi jokaisella lannoituksella, eniten AS_3- ja U_3-lannoituksella, 44 ja 34 %. Taimien reaktio lannoitukseen riippui suuresti niiden pituudesta lannoitushetkellä ($p < 0.01$). — Näissä kokeissa ei ilmennyt mitään lannoituksesta aiheutuvaa haittavaikutusta edes suurimmilla annoksilla.

Monissa tapauksissa suositellaan aineisto järjestettäväksi, stratifioitavaksi, jonkin tekijän mukaan (S n e d e c o r 1959). Aineiston stratifiointi kyllä vähentää virhevarianssin vapaiden arvojen määrää, mutta ainakin näissä tapauksissa se silti pienensi kokeen virhevarianssia. Lisäksi stratifiointia käyttäen saadaan kokeista arvokkaita lisätietoja taimien kasvusta ja lannoituksen vaikutuksesta. Samoin on ilmeisesti tarkoituksen mukaista ottaa taimien alkupituus tarkastelussa mukaan lisähavaintona *(concomitant measurement)*.

Yhteenveto tuloksista

Lannoitus istutusvaiheessa

Kuoppalannoitus. Istutuskuoppaan voidaan näiden kokeiden mukaan antaa 7 g P_2O_5 (= 30 g kotkafosfaattia) ja ½ l (= n. 600 g) kalkkikivijauhoa ilman, että se vaikuttaa taimien eloonjäämiseen. Typpi- ja kalilannoitteita on käytettävä erittäin varovasti, ja ilmeisesti niiden vaikutus riippuu sääoloista, lähinnä sateiden määrästä. Tutkimuspaikalla ei ollut sääasemaa ja lähimpien asemien havainnot vaihtelivat melkoisesti, joten niiden käytöstä ei yksityistapauksissa ole paljon hyötyä. Yleisenä suuntana kokeissa kuitenkin oli, että sateisena kesänä taimet kestivät melko suuria, mutta kuivana

vuonna paljon pienempiä lannoiteannoksia. Vaarallisinta näytti olevan kun kuivana aikana sattuu yksinäinen 5—10 mm sade, joka liuottaa lannoitteen, mutta ei kuljeta sitä eteenpäin (1961). Näiden kokeiden mukaan ei kuoppalannoituksena ole annettava typpeä (N) yli 0.5 g tai kalia (K_2O) yli 1 g tainta kohti (= 2.5 g ammonium- ja 2 g kaliumsulfaattia), ja kuuselle nämäkin määrät voivat olla liian suuret.

Lannoitteen sijoittaminen taimen alle tai kuoppaan taimen viereen ei osoittautunut edullisemmaksi kuin istutuskuopan maahan sekoittaminen.

Pintalannoitus. Taimet kestivät istutusvaiheessa pintalannoituksena paljon suurempia lannoitemääriä kuin kuoppalannoituksessa. Kun lannoite levitettiin 0.5 m^2 alalle (säde 40 cm) taimen ympärille, ei 5 g N, 10 g P_2O_5, 5 g K_2O ja 600 g $CaCO_3$ vaikuttanut haitallisesti taimien eloonjäämiseen, ja pieni määrä N, P ja K yhdessä Ca:n kanssa saattoi jopa vähän lisätäkin eloonjäämistä.

Lannoituksella istutusvaiheessa oli jokaisessa kokeessa erittäin vähän vaikutusta taimien pituuskasvuun. Jos lannoitus vaikuttaa kasvuun, se ilmenee ensimmäisenä tai toisena vuonna.

Vanhojen taimien lannoitus

Pintalannoitus 8 g N/0.5 m^2 asti nousevina annoksina ei näissä kokeissa tuhonnut aikaisemmin istutettuja taimia eikä luonnon taimia. Maanpinnan alle sijoitettuna jo 2 g N ammoniumsulfaattina osoittautui nuorille taimille (2—4 v. sitten istutetuille) myrkylliseksi ja tämä annos hidasti myös luonnon taimien kasvua. Lannoitus vaikutti selvästi edullisesti ainoastaan luonnon männyntaimien kasvuun, ja niissä vaikutus oli yleensä suurin suurimmalla käytetyllä lannoiteannoksella (8 g N/0.5 m^2). Istutetussa 13-vuotiaassa kuusen taimistossa antoi parhaan tuloksen annos 4 g N/0.5 m^2, kun lannoitus uusittiin samoilla määrillä toisena vuonna. Lannoituksen vaikutus oli sitä selvempi mitä kookkaampia taimet lannoitettaessa olivat.

Lannoitelajit

Typpilannoitteista ammoniumsulfaatti ja kalkkiammonsalpietari istutuskuopan maahan sekoitettuna lisäsivät taimien kuolemista annoksina 1 g N/taimi lähes yhtä paljon kumpikin. Istutuskuopan pohjalle sijoitettuna kalkkiammonsalpietari oli helppoliukoisista lannoitteista vähiten myrkyllinen. Ammoniumsulfaatti oli kuuselle myrkyllisempi kuin urea, männylle usea vaikutti haitallisemmin. Myös pintalannoituksena istutusvaiheessa annettu ammoniumsulfaatti oli kuuselle vahingollisempi kuin urea, männylle taas urea oli vahingollisempi, mutta mikään typpilannoite ei

käytettyinä annoksina tappanut vanhempia taimia. Hitaasti liukenevat typpilannoitteet eivät yleensä aiheuttaneet taimien kuolemista edes istutusvaiheessa.

Aineisto kaliumkloridin ja -sulfaatin vertaamiseksi on pieni, mutta se viittaa siihen, että mänty olisi arempi kloridille, kuusi taas sulfaatille.

Tuhot

Kun halla ei ollut kovin voimakas, kali- ja kalkkilannoitus vähensivät hallan aiheuttamia tuhoja kuusikoissa, ja varsinkin niiden yhteisvaikutus osoittautui edulliseksi. Vaikeina hallavuosina (esim. 1963) lannoitus ei pystynyt vähentämään vaurioita.

Yleisenä ilmiönä voitiin todeta, että istutusvaiheessa myös lannoittamattomia taimia kuoli monissa kokeissa runsaasti. Keskimäärin kummankin puulajin käsittelemättömiä taimia kuoli istutusvuonna yhtä paljon, n. 12 % mutta luvut vaihtelivat suuresti eri vuosina, 2—28 %. Pääasiallisena syynä näiden taimien kuolemiseen lienee ollut kuivuus, mutta taimien kunto sekä istutustyön laatu varmaan ovat myös vaikuttaneet siihen. Heikot, huonosti istutetut taimet ovat todennäköisesti normaalia arempia lannitteille. Taimia kuoli myöhempinäkin vuosina ja usein selvästi hirven aiheuttamana. Eläinten aiheuttamien tuhojen runsautta ei inventoitu erikseen. Myöskään ei tehty havaintoja lannoituksen vaikutuksesta hyönteis- ja sienituhoihin.

Loppupäätelmiä

Monissa saksalaisissa (esim. Wittich 1958, Hausser 1958, Brüning 1959, Hoffman 1965), englantilaisissa (Benzian 1965) ja amerikkalaisissa (esim. Austin ja Strand 1959, Maki 1960, Hughes ja Jackson 1962) lannoituskokeissa on saatu taimien kasvua parannettua kivennäismailla, samoin kotimaisissa kokeissa turvemailla (Huikari 1961). Lannoituksen kannattavuutta ei mainituissa tutkimuksissa ole tarkasteltu. Tässä esitetyt kotimaisten samoin kuin julkaisemattomien ruotsalaisten ja norjalaisten tutkimusten tulokset eivät osoita lannoituksen aikaisessa taimistovaiheessa paljonkaan parantavan taimien kasvua kivennäismaalla.

Käytännön metsätaloudessa olisi pyrittävä suurimpiin lannoiteannoksiin, mitä taimet vahingoittumatta kestävät, jotta vaikutus olisi mahdollisimman pitkäaikainen. Edellä selostetut kenttäkokeet osoittavat selvästi, että kivennäismaalla lannoitteen sekoittaminen istutuskuopan maahan tai sijoittaminen maanpinnan alle lähelle tainta hyvin helposti tuhoaa taimen. Varsinkin kalilannoitteen ja helppoliukoisen typpilannoitteen kohdalla

sallittavat käyttömäärät ovat hyvin pienet. Samaan tulokseen on tultu myös muualla. (Vrt. esim. Němec 1939, samoinkuin Gussonen (1964) yhteenveto saksalaisista kokemuksista.) Nyt tehdyissä kasvihuonekokeissa sellaiset typpimäärät, jotka kenttäkokeissa tuhosivat lähes kaikki taimet, lisäsivät kasvua suuresti ja esim. Heikinheimo (1941) ja Ingestad (1963) ovat taimitarhakokeissa todenneet, että typpilannoitus parantaa taimien kasvua. Kenttäkokeiden ja kasvihuone-taimitarhakokeiden tulosten erilaisuus johtuu mm. siitä, että taimet kentällä usein joutuvat kärsimään kuivuutta ja kuivana aikana ravinnepitoisuus maavedessä saattaa nousta suureksi jo pienilläkin lannoiteannoksilla (vrt. Benzian 1965). Myös eräiden lannoitteiden hydrolyysin tai ionivaihdon välityksellä aiheuttama maan happamuuden lisääntyminen vaikuttaa epäedullisesti.

Maan pinnalle levitettyjä lannoitteita taimet kestävät suurempia määriä kuin maanpinnan alle sijoitettuja. Taimien kehitykseen meidän oloissamme on niillä lannoitemäärillä, jotka eivät tuhoa taimia, erittäin pieni ja lyhytaikainen vaikutus, mutta sopiva lannoitus saattaa ilmeisesti jonkin verran lisätä taimien eloonjäämisprosenttia. Suuret taimet reagoivat lannoitukseen voimakkaammin kuin pienet (vrt. Maki 1960, Benzian 1965 ja Viro 1965). Tärkeä syy nyt kentällä havaittuun lannoituksen vähäiseen vaikutukseen on varmaan se, että moreenimaa, jota koepaikkojen maa oli, on niin tiivistä, että se aiheuttaa mekaanisen esteen pienten taimien juuriston kehitykselle (vrt. esim. Sekera 1951 ja Schuurman 1965). Tätä otaksumaa tukee sekin, että männyn taimien alkukehitys on hiekkamaissa nopeampaa kuin moreenimaissa (Viro 1947). Lisäksi vähäiseen reaktioon vaikuttanee se, että juuriston kasvu ei lannoituksen vaikutuksesta lisäänny yhtä paljon kuin varren (Heikinheimo 1941). Nyt tehdyt kokeet olivat moreenimaalla tai hienojakoisella lajittuneella maalla. On mahdollista, että taimet reagoivat lannoitukseen paremmin löyhärakenteisemmilla hiekka- ja hietamailla.

Hitaasti liukenevia typpilannoitteita taimet kestävät suurempia määriä kuin helppoliukoisia ja niitä käyttäen voidaan jossain määrin tehdä varastolannoitus typellä. Kuusen ja männyn erilainen kalilannoitteen kestävyys kloridina tai sulfaattina ei tule esiin kohtuullisina pintalannoitusannoksina.

Kotimaiset lannoituskokeet ovat toistaiseksi melko nuoria. Niiden perusteella ei voida tehdä laskelmia lannoituksen kannattavuudesta ennen kuin metsiköistä saadaan myyntituloja. Lannoituksen taimien kuolemista ja hallan tuhoja vähentävän vaikutuksen rahallista arvoa ei toistaiseksi voida arvioida. Kokeiden perusteella näyttää kuitenkin epätodennäköiseltä, että lannoitus aikaisessa taimistovaiheessa voisi siinä määrin lisätä kasvua tai varmistaa metsittymistä, että tämä tekisi toimenpiteen kannattavaksi. Lisäksi on mahdollista, että jos lannoittaminen lisää kasvua, se samalla lisää taimien alttiutta hyönteis- ja sienituhoille (Hughes ja Jackson

1962). K u r k e l a n (1965) mukaan kalilannoitus vähäravinteisella suolla vähentää männyn lumikaristetta, fosfori lisää sitä ja typellä ei ole mitään vaikutusta.

Vanhemmissa taimistoissa ei lannoitusta voi taloudellisena toimenpiteenä suositella ainakaan ennen kuin taimien luontainen kasvu on muuttunut nopeaksi. Tämä tapahtuu kuusikoissa 15—20 vuoden, männiköissä 10—15 vuoden iällä (I l v e s s a l o 1920). Mikäli kivennäismaiden nuoria taimistoja jostakin syystä halutaan lannoittaa, on lannoitteet levitettävä maan pinnalle, kustannusten säästämiseksi pienelle alalle taimien ympärille. Lannoiteannos ei istutusvaiheessa saisi ylittää 5 g N tai K_2O/0.5 m^2. Suositeltavampaa on kuitenkin lykätä lannoitusta muutamia vuosia, jolloin annoksia ainakin tärkeimmän ravinteen, typen, kohdalla voidaan suurentaa kaksinkertaisiksi. Varmempi tulos saadaan ilmeisesti toistamalla lannoitus useita kertoja (G u s s o n e 1964). Helppoliukoisten lannoitteiden sekoittamista istutuskuopan maahan tai muulla tavoin sijoittamista maanpinnan alle on vältettävä.

Viime aikoina on ruettu kokeilemaan lannoitetussa turpeessa kasvavien taimien (pottitaimien) istuttamista, sekä maan muokkausta metsittämisen yhteydessä. Tässä tutkimuksessa ei ole kokeiltu näitä menetelmiä.

Kirjallisuutta

Austin, R. C. ja Strand, R. F. 1960. The use of slowly soluble fertilizers in forest planting in the Pacific North-West. Journ. Forestry 58, ss. 619—627.

Benzian, B. 1965. Experiments on nutrition problems in forest nurseries, Vol. I. Forestry Commission, Bull. 37.

Brüning, D. 1959. Forstdüngung, Neumann-Verlag, Leipzig.

Cochran, W. G. ja Cox, G. M. 1957. Experimental designs, 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Crowther, E. M. ja Benzian, B. 1952. Summary report on 1951 experiments. Forestry Commission, Report on forest research for the year ending March, 1952.

Gussone, H. A. 1964. Faustzahlen für Düngung im Walde. Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München.

Hald, A. 1957. Statistical theory with engineering applications, 3rd Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Hausser, K. 1958. Ergebnisse von Düngungsversuchen zu schlechtwüchsigen Nadelholzkulturen auf Buntsandstein des württenbergischen Schwarzwalds. *In:* Auswertung von Düngungs- und Melirationsversuchen in der Forstwirtschaft, ss. 129—168. Ruhrstickstoff, Bochum.

Heikinheimo, O. 1941. Metsänistutusmenetelmistä. (Referat: Versuche mit waldbaulichen Pflanzmethoden.) Comm. Inst. Forest. Fenn. 29.4.

Hoffmann, F. 1964. Die Bedeutung steigender N- und P-Gaben sowie unterschiedlicher Bodenart für Wachstum und Ernährung von Fichtensämlingen. Albrecht-Thaer-Archiv 8, ss. 675—698.

Hughes, R. H. ja Jackson, J. E. 1962. Fertilization of young slash pine in a cultivated plantation. S.—E. Forest Exp. Sta., Station paper 148.

Huikari, O. 1961. Koetuloksia metsäojitettujen soiden ravinnetalouden keinollisesta parantamisesta. Metsätal. aikakausl.

Ilvessalo, Y. 1920. Metsätyyppien taksatoorisesta merkityksestä. (Referat: Untersuchungen über die taxatorische Bedeutung der Waldtypen.) Acta Forest. Fenn. 15.

Ingestad, T. 1963. Gödslingens inverkan på skogsträdsplantornas tillväxt och typ i plantskolor. Royal College of Forestry, Dept. Forest Ecology, Res. note 2.

Kurkela, T. 1965. Männyn lumikaristetaudin ja lannoituksen suhteesta Kivisuon metsänlannoitusalueella. Folia Forestalia 14.

Maki, T. E. 1960. Some effects of fertilizers on loblolly pine. 7th Intern. Congr. Soil Sci. Madison, Wisc. USA.

Němec, A. 1939. Untersuchungen über den Einfluss chlorhaltiger Kalidüngemittel auf das Wachstum und auf die Ernährung der Fichte in Baumschulen. Bodenkunde und Pflanzenern. 13, ss. 35—72.

Schuurman, J. J. 1965. Influence of soil density on root development and growth of oats. Plant and Soil 22, ss. 352—374.

Sekera, F. 1951. Gesunder und kranker Boden. Verlag Paul Parey, Berlin.
Snedecor, G. W. 1959. Statistical methods. 5th Ed. The Iowa State College Press, Ames, Iowa.
Viro, P. J. 1947. Maan raekokoomus ja viljavuus. Comm. Inst. Forest. Fenn. 35.2.
—»— 1965. Estimation of the effect of forest fertilization. Ibid. 59.3.
Wittich, W. 1958. Auswertung eines forstlichen Düngungsversuches auf einem Standort mit für weite Gebiete Deutschlands typischem Nährstoffhaushalt. *In:* Auswertung von Düngungs- und Meliorationsversuchen in der Forstwirtschaft. Ruhr-Stickstoff, Bochum.

MANURING OF YOUNG PLANTATIONS

Summary

This paper summarizes the work done at the Forest Research Institute of Finland since 1959 on manuring of young plantations of Norway spruce and Scots pine on mineral soils. Fertilizers were applied to spruce (2 + 2) and pine (1 + 1) transplants either at the time of planting, or from 2 to 9 years later, and also manuring of seedlings originating as natural regeneration was studied. The fertilizers were mixed with the soil of the planting hole, or placed under the seedling, or in 2 holes 15 cm deep, on opposite sides and at a distance of 10 cm from the seedling, or spread on the soil surface within a 40-cm radius around the seedling. The experimental desings used were factorial, Latin square, or randomized block. Experimental units were small making possible a great number of replications.

The seedlings tolerated only small amounts of easily soluble nitrogen and potassium fertilizers; they withstood phosphorus better and lime well. When the fertilizers were mixed with the soil of the planting hole, seedling mortality even with small doses was often very high, and the growth response was negligible. Fertilizers spread on the surface did not kill the seedlings so easily, but even then the growth responses were small. The tolerance of seedlings to fertilizers varied greatly from year to year, presumably due to differences in weather. A moderate rain shower during a drought period might greatly add to the mortality.

The tolerance of seedlings to fertilizers was influenced also by the age. Both the natural and the older planted seedlings withstood larger doses of fertilizers than the newly planted ones.

Only when the seedlings had attained the stage of the natural rapid growth (*i.e.*, the grand period), did they really respond to nitrogen fertilizers. This occurs with pine at the age of 10—15 years, and with spruce at 15—20 years. The response was positively correlated to the initial size of seedlings as manifested through covariance analysis. The main reasons for the poor response of the young trees to fertilizers is assumed to be the compactness of the morainic soil (the prevailing forest soil in Finland), and the dryness of the climate in the early summer, the time of maximum growth. This is indicated by the good response of seedlings to fertilizers under the favourable tilth and moisture prevailing in greenhouse and nursery experiments. It is possible that even the observed field responses would have been greater had the experiments been conducted on looser-textured soils.

No distinct difference in seedling mortality was noticed between ammonium sulphate and ammonium nitrate-limestone. Urea seems to be more harmful to pine, ammonium sulphate to spruce. No benefit to growth was noticed from slowly soluble nitrogen fertilizers (magamp and floranid) as compared with the conventional ones, but the limit of tolerance was higher, especially for magamp. There were no great

differences between the effects of various nitrogen fertilizers on growth. For spruce, potassium sulphate seems to be more harmful than chloride; for pine, the reverse appears true.

There was some indication that moderate amounts of fertilizers, spread on the soil surface, somewhat diminish natural seedling mortality. Potassium and lime decreased the damage caused by late (mid-June) frosts in spruce. However, in years of severe frosts all fertilizers proved ineffective.

The economic aspects of forest manuring at the seedling stage cannot by reliably enough discussed before the initial costs can be compared with the extra wood production in a revenue thinning, a final cut, or both, from these stands. However, it seems very doubtful that the small improvement in the growth and survival of seedlings, or decrease in the damage could possibly cover all the costs for even the minimum period required until the first commercial cut.

According to this study, no method of application of fertilizers below the soil surface can be recommended for morainic soils in Finland. If it is desired to manure in connection with planting, the doses per seedling must not exceed 5 g N or K_2O, spread on a circle of 0.5 m^2. There was no harm in 10 g P_2O_5 or 600 g ground limestone per seedling. However, it is advisable to postpone manuring for some years, and then the doses can be higher.

INVESTIGATIONS ON THE BASIC DENSITY OF FINNISH PINE, SPRUCE AND BIRCH WOOD

PENTTI HAKKILA

TUTKIMUKSIA MÄNNYN, KUUSEN JA KOIVUN PUUAINEEN TIHEYDESTÄ

LYHENNELMÄ

HELSINKI 1966

Helsinki 1966. Valtioneuvoston kirjapaino

Dedicated to the memory
of my Father

Preface

In spring 1962 the Small-Sized Timber Research Commission offered to finance a study on the wood density of different timber assortments if this could be done at the Forest Research Institute. The Forest Technology Department of the Forest Research Institute considered it most expedient to establish first how and why wood density varies within the stem and between stems. It was thought that the calculation of the wood density of different timber assortments could be done as an application of the basic data obtained. This plan was accepted by the Small-Sized Timber Research Commission, and the field work was started in the same spring. The Small-Sized Timber Research Commission then financed the investigation for three years.

Professor, Dr. Paavo Aro, Chief of the Forest Technology Department, played a decisive role in the successful outcome of the study, and participated closely in all the phases of the work. He supported and speeded up the performance of this study in many ways. Associate Professor, Dr. Veijo Heiskanen, then Director of Research of the Small-Sized Timber Research Commission, offered valuable guidance, especially in drawing up the research project and again in the final phases of the study. In later stages, the course of the work was tutored by Professor, Dr. Th. Wegelius and Professor, Dr. Kalle Putkisto from the Department of Logging and Utilization of Forest Products, University of Helsinki.

When the field work of the study had already progressed for two summers I was awarded through the agency of the National Research Council for Agriculture and Forestry a fellowship of the W. K. Kellogg Foundation. This enabled me to study in the Department of Forest Products at Michigan State University under the direction of the Chairman of the Department, Professor, Dr. A. J. Panshin, and Professor, Dr. Aubrey E. Wylie many aspects of wood technology, including wood density. After my return to Finland, Professor Panshin and Professor Wylie continued to provide assistance in conducting this study. The valuable instruction at Michigan State University had an appreciable effect on the final form of this study.

The field work of the investigation was managed from beginning to end by Mr. Olli Uusvaara, M.Sc. Mr. Teuri J. Salminen, Mr. Erkki Taipalinen and Mr. Juho Yli-Hukkala also took part in the field work. The greatest burden of the laboratory work was borne by Mrs. Taija Havanto. Mr. Asko Hilli, Miss Marja Hyttinen, Mrs. Aune Rytkönen, Mr. Evert Saviola, Miss Anneli Tuohiniemi and Mrs. Tuovi Turunen also helped with the handling of the material in various phases of the study.

The statistical treatment of the material was possible only with the assistance given by the Computer Centre, University of Helsinki. The computer programme was drawn up by Mr. Pekka Kilkki, B.For. In the statistical and mathematical problems I received help from Mr. Juhani Hakkila, M.Sc. (Eng.), Mr. Eero Halme and Mr. Sakari Salminen, B.For.

The manuscript was checked and corrected by Professors Paavo Aro, Veijo Heiskanen, A. J. Panshin and Aubrey E. Wylie.

The translation from Finnish into English was made by Miss Päivikki Ojansuu, M. A., and checked by Mr. L. A. Keyworth, M. A. (Cantab.).

I extend my sincere thanks to all persons and institutes mentioned in the foregoing.

Helsinki, April 1966

Pentti Hakkila

CONTENTS

Page

List of symbols used in the text 8

I. Introduction 9
1. The need for a wood quality inventory and the feasibility of making one 9
2. Density as a wood quality indicator 13
3. Arrangement and limitation of the task 16

II. Material and methods 18
1. Material 18
2. Methods used in investigation 22
21. Collection of samples 22
22. Determination of density 24
23. Statistical procedures 28

III. Results 32
1. Density variation within the stem 32
11. Variables causing density variation within the stem 32
12. Density variation in the radial direction of the stem 39
13. Density variation in the longitudinal direction of the stem 41
14. Estimating the average tree density 44
2. Density variation between the stems 49
21. The external tree characteristics as density indicators 49
211. Regression of tree density on tree age 49
212. Regression of tree density on stem size and form 51
213. Regression of tree density on crown size 53
22. The influence of environmental factors on tree density 54
221. The influence of stand structure on tree density 54
222. The influence of site quality on tree density 56
23. Stem-to-stem density variation explained by external tree characteristics and environmental factors 60
24. Density as an inheritable property 63
3. Density of the most important timber assortments 66
31. Density of saw and veneer timber 66
32. Density of cordwood 68

IV. The reliability of the results 72

V. Practical viewpoints 78

VI. Summary 81

Literature cited 83

Lyhennelmä 95

LIST OF SYMBOLS USED IN THE TEXT

(Luettelo käytetyistä lyhennyksistä)

The following abbreviations are used in the text and in the figure and table legends *(Tekstissä ja kuvien ja taulukoitten selityksissä käytetään seuraavia lyhennyksiä)*

B	birches combined	*koivut yhdistettyinä*
CB	common birch	*rauduskoivu*
cm	centimetre	*senttimetri*
cu.m	solid cubic metre	*kiintokuutiometri* = k-m^3
dbh	breast height diameter above the bark	*rinnankorkeusläpimitta kuoren päällä* = $d_{1.3}$
$\bar{d}$	mean of the differences of paired observations	*parittaisten havaintojen erotuksen keskiarvo*
kg	kilogram	*kilogramma*
m	metre	*metri*
mm	millimetre	*millimetri*
n	number of observations	*havaintojen lukumäärä*
P	Scotch pine	*mänty*
R	coefficient of correlation in simple and multiple linear regression	*korrelaatiokerroin*
R^2	coefficient of determination correspondingly (This value indicates the proportion of the total variation in the dependent variable that is explained by the regression)	*kokonaiskorrelaatiokerroin*
S	Norway spruce (in the figures)	*kuusi (kuvissa)*
S	sample standard deviation	*näytteen hajonta*
S^2	sample variance	*näytteen varianssi*
Sd	standard deviation of the differences of paired observations (G u e n t h e r 1964)	*parittaisten havaintojen erotuksen hajonta*
Sy.x	standard deviation of the dependent variable associated with the regression	*regressioyhtälöön liittyvä riippuvan muuttujan hajonta*
WB	white birch	*hieskoivu*
X_1—X_{23}	see pages 29—31	*katso sivut 29—31*
$\bar{X}$	sample mean	*näytteen keskiarvo*
..	no observation	*havainto puuttuu*

I. Introduction

1. THE NEED FOR A WOOD QUALITY INVENTORY AND THE FEASIBILITY OF MAKING ONE

»Quality is the resultant of physical and chemical characteristics possessed by a tree or a part of a tree that enable it to meet the property requirements for different end products» (M i t c h e l l 1961) [1]). The quality of wood is thus a concept bound with the use of wood.

It is of primary importance in industrial planning to know not only the volume but also the quality of the raw material inventories. Only when the quality of the raw wood obtainable is known can it be utilized to the best advantage, and only then is there a basis for forecasts of raw material consumption and the quality of the end product. When this goal has been achieved, it is possible to price the raw wood equitably by taking the quality of the timber into consideration separately in each individual case. A fair price, again, is the only way of making the wood producer conscious of quality considerations in growing forest. At the same time, the chances are increased of directing forest tree improvement activity more towards development of the quality of wood side by side with the present activity which is aimed chiefly at increasing the volume of growth.

As there is no unit by which the quality of wood can be expressed directly, the end must be attained by a roundabout route. One property or several properties of wood indicative of the suitability of wood for a certain use are measured. These properties are called wood quality indicators. To be serviceable, a wood quality indicator should meet the following requirements.

- The indicator must give an idea of the suitability of the wood for various uses.
- The indicator must be a sensitive measure of the variation in wood quality.
- The indicator must allow accurate measuring at reasonable cost.
- The indicator must be easy to interpret and use, not only in scientific research but also in practical forestry.
- The indicator must be applicable to all species of wood.

[1]) This definition is meant later in the text when the term quality is used.

Defects in wood affect essentially the quality of several kinds of timber. The amount, distribution and size of knots give an idea of the suitability — or unsuitability — of wood as raw material for, say, lumber from a certain tree species. The utilization value of wood is influenced also by the occurrence of reaction wood, decay, blue stain and other defects. The purpose of a general inventory of wood quality, however, is to elicit just the basic starting point, the quality of defect-free wood and its variation.

The symbol of the quality of wood employed in the case at issue must thus be a characteristic of clear, defect-free wood. It would be preferable if a property visible to the naked eye could be used. Such properties are the growth rate and uniformity of growth illustrated by the ring width. The growth rate is expressed by the average ring width, but the uniformity of growth is more difficult to depict. The ring width can be determined by simple methods and can often be seen clearly by the naked eye. Its significance is easy to understand and it can be influenced by silvicultural treatment. In addition, the ring width varies over a wide range.

There is a negative correlation between ring width and pulp yield (W e g e l i u s 1949). Ring width can be used also for assessing the quality of sawlogs and lumber. According to the stress-grading rules for Finnish structural lumber, the average ring width of pine and spruce lumber may be a maximum of 3 mm in the first and a maximum of 5 mm in the second grade (S i i m e s 1952). There are corresponding restrictions in several countries, e.g. in the grading rules for southern yellow pine and Douglas fir lumber in the U.S.A. (Standard Grading Rules for Southern Pine Lumber, 1963 and Standard Grading and Dressing Rules for Douglas Fir . . . , 1962). It has also been shown that a positive correlation prevails between the average ring width and the knottiness of the sawlog and lumber (H e i s k a n e n 1954).

When the concept of juvenile wood became known, earlier opinions about the correlation between the growth rate, i.e. the ring width, and the quality of wood had to be revised. According to R e n d l e (1960), »juvenile wood refers to the secondary xylem produced during the early life of the part of the tree under consideration and characterized anatomically by a progressive increase in dimensions and corresponding changes in form, structure, and disposition of the cells in successive growth layers». Concurrently with these changes, there generally occurs also a narrowing of the ring from the pith towards the cambium.

It was concluded earlier that there is a fixed correlation between the quality of wood and the ring width. It has been found later that this correlation is in many cases smaller than had been assumed except in the zone of juvenile wood where some wood properties change concomitantly with the ring width. The juvenile wood zone within which the annual ring narrows

from the pith towards the cambium at the same time as certain other properties of the tree change towards higher quality is, however, fairly narrow. The time during which a tree grows juvenile wood varies from species to species, but may be correlated with the normal life span of the tree (R e n d l e 1959).

The correlation between ring width and certain other properties of wood is considerably weaker outside than in the juvenile wood zone itself (H i l e y 1955, R e n d l e 1959). Juvenile wood has been studied chiefly in pines, and its occurrence in Norway spruce and birches is still unclarified. However this may be, it is evident that ring width alone is not a sufficiently accurate standard of quality for pine, spruce and birch wood.

The proportion of summerwood volume to springwood volume, which is denoted as percentage summerwood, is another property to be considered in selecting an indicator of wood quality. In M o r k' s (1928) definition, summerwood includes tracheids in which the common cell wall in tangential direction between two cells is exactly half or over half of the radial width of the lumen. If the joint width of two cell walls is less than this, the tracheids are considered to belong to springwood. Mork's definition was intended originally for spruce, but it is used commonly for other softwoods as well.

As summerwood by definition consists of thicker-walled cells, the unit volume of wood contains more wood substance the higher the percentage summerwood. When the percentage summerwood increases, the strength properties of wood are improved (J a l a v a 1933). Percentage summerwood is used in the grading of southern yellow pine and Douglas fir lumber in the U.S.A. The requirement for lumber of high grade strength properties, so-called dense lumber, is that there are »on either one end or the other, not less than 6 annual rings per inch and not less than 1/3 summerwood. Pieces averaging less than 6 annual rings per inch and not less than 4 meet dense requirements if averaging 1/2 or more summerwood» (Standard Grading Rules for Southern Pine Lumber, 1963 and Standard Grading and Dressing Rules for Douglas Fir . . . , 1962). The requirement concerning the amount of summerwood is more important than that applying to ring width (Short Course in Grading, 1963). The percentage summerwood of both pine and spruce in Finnish structural lumber of strength class I must be a minimum of 24. The corresponding figure for class II is 17, whereas for lumber of strength class III there is no minimum percentage summerwood (S i i m e s 1952).

Both spring- and summerwood cells have their advantages and disadvantages in paper making, and thus the presence of both cell types in a certain ratio in pulp is desirable. According to D a d s w e l l and W a r d r o p (1959), the wood contained by Australian plantation-grown

softwoods should contain 15—50 per cent of summerwood if high-grade pulp is desired.

The use of percentage summerwood as an indicator of wood quality is limited above all by its unsuitability for hardwoods, because the transition between spring- and summerwood is indistinct in diffuse-porous hardwoods. In softwoods, particularly in those that have pronounced summerwood bands, percentage summerwood affects not only the amount and quality of the pulp yield and the strength of the wood, but also its weight, appearance and workability. Percentage summerwood denotes, however, only the proportion of the xylem that meets the minimum requirement mentioned in the definition of summerwood, and it gives no indication of the quality of springwood and summerwood which also varies.

In addition to growth rate and percentage summerwood, there are several other properties that may be considered as wood quality indicators. They are properties of which no idea can be obtained without laboratory apparatus. Fibre length, cell wall thickness, fibril orientation and the chemical composition of wood are indicators illustrating the quality of wood used as raw material in pulp and paper making (Dadswell and Wardrop 1959). Fibril orientation also influences the properties of lumber (Forest Products Laboratory 1960). The latter, however, is so difficult to determine that the practical performance of the work alone prevents its selection as an indicator for inventories of wood quality.

None of the properties enumerated above meet fully the demands to be made of a wood quality indicator. A more serviceable indicator is the density of wood which denotes the dry-matter weight per unit volume of wood: wood density is usually expressed in grams per cubic centimetre, in kilograms per solid cubic metre or in pounds per cubic foot. If the volume of a piece of wood is measured when the moisture content of the wood is above the fibre saturation point, the term basic density of wood is used for the density value obtained. When the volume of absolutely dry wood is used, the oven-dry density or dry density of wood is obtained; it is higher than the former value on account of the shrinkage of wood.

When the wood density is divided by the water density at a water temperature of +4°C, the specific gravity of wood is obtained. This is a unitless quantity and consequently independent of the measuring system. Specific gravity of wood must be distinguished from specific gravity of cell wall substance. The former depends on the volume of the cell walls, the specific gravity of cell wall substance and the amount of extractives, cell lumina and intercellular spaces. The latter is practically constant, about 1.53 (Brown, Panshin and Forsaith 1949).

The density and the specific gravity depend primarily on the ratio between the volume of the cell walls and the volumes of the intracellular and intercellular spaces, since the specific gravity of the cell wall substance is practically constant. A disturbing factor, however, is the extractives in wood which increase wood density.

2. DENSITY AS A WOOD QUALITY INDICATOR

Density denotes the weight of the wood contained in a unit volume. Weight itself is a factor affecting wood properties. Knowledge of the weight of timber is of especial importance in connection with transport because the load size, the transport charges and the buoyancy of wood in floating depend on the weight of the timber. It should also be known when the wood is used as building material. When the traditional method of volume scaling and weight scaling are used concurrently, wood density is an essential link which must be known for comparison of the volume and weight measurements.

Wood density also gives a picture of the mechanical properties of wood. There is an especially strong correlation between density and the strength properties of wood such as the tensile, bending, compression and shearing strength and hardness (S i i m e s and L i i r i 1952). When the density increases, certain strength properties increase, too. Wood hardness is directly proportional to density to the power of 2¼ (M a r k w a r d t and W i l s o n 1935). The strength properties of high-density Scotch pine are twice those of low-density pine (S i i m e s and L i i r i 1952).

The ratio of the strength to the density of wood is taken into consideration in stress grading. When Finnish structural lumber is divided into three strength classes, the density [1]) of pine must be a minimum of 500 kg/solid cu.m in class I and a minimum of 450 kg/solid cu.m in class II. The corresponding figures for spruce are 470 kg/solid cu.m and 420 kg/solid cu.m (S i i m e s 1952). »Density can be used in the selection of high-grade piling, transmission poles, and other products where high strength is of major importance» (M i t c h e l l and W h e e l e r 1959).

In the production of structural plywood, density is an essential factor (H e s s 1965, O r t h 1965). It is also important to select the outermost boards from strong and stiff lumber in making laminated beams and arches. On the other hand, it is possible to place weak lumber between the outermost boards. By placing the pine boards in the beam in the right way, beams are obtained that are 60 % stronger and 45 % stiffer than those in which the low-density boards are placed in the outer parts of the beam (S i i m e s 1965).

[1]) Volume measured at 15 per cent moisture content.

Density also affects the liquid absorption, swelling and shrinkage properties of wood. Low-density wood absorbs more water than heavy. The consumption of preservatives is highest in low-density wood with some preservation methods and can be calculated when the density of wood is known. In pine wood the tangential, radial and volumetric shrinkage and swelling are directly proportional, while the shrinkage and swelling in the longitudinal direction of the tree are inversely proportional to the density of the wood (S i i m e s 1938).

The pulp yield per unit volume of wood depends on the wood density: a unit volume of wood contains more fibre the higher the density of wood. For instance, there is a linear correlation between the sulphate pulp yield and the density of Scotch pine (E r i c s o n 1962 a) and southern yellow pines (M i t c h e l l and W h e e l e r 1959). Correspondingly the sulphite pulp yield in kg/solid cu.m of Norway spruce wood can be expressed with the following equation: yield = 20 + 433 · specific gravity + 8 · chlorine number (K l e m 1949).

The correlation between the pulp yield of a given unit weight of wood and the wood density is weak, in contrast. It has been noted, however, that the cellulose yield per unit weight of wood is smaller from juvenile wood than from adult wood (Z o b e l and M c E l w e e 1958).

Wood density can also be used to predict the quality of the paper obtained from wood. Density gives an indication of the cell wall thickness compared with lumen diameter, for dense wood is composed on the average of thick-walled cells. Thanks to their stiffness, thicker-walled fibres retain their original rounded cross-section form in paper-making, while thin-walled fibres collapse and become ribbon-like in form, which facilitates the bonding of the fibres (R u n k e l 1942).

This behaviour of the fibres affects the paper properties decisively. Paper made of thin-walled cells is dense and opaque and has high tensile and bursting strength. But the tearing strength, which is an important property especially in kraft paper, is highest in paper made of thick-walled cells (M i t c h e l l 1961). Proliferation of the number of thick-walled cells also lengthens the beating time necessary in the pulp production and makes sheet formation more difficult. Simultaneously, the paper surface becomes rougher and the folding endurance of paper weakens (D a d s w e l l and W a r d r o p 1959). Because of their pale colour, thin-walled springwood fibres require less bleaching to reach a desirable degree of whiteness (E d l i n 1965).

The most suitable fibres for a given occasion depend on the type of paper and its intended use. In fact one cannot speak of a pulp that is universally good for all paper qualities. However, D a d s w e l l, W a t s o n and N i c h o l s (1959) thought it desirable that the thickness of the cell wall should be less than half of the lumen diameter.

If a great bursting strength is required of paper, a low wood density is advantageous, but for a great tearing strength dense wood is desirable (Hiett, Beers and Zachariasen 1960). The effect of the density of the wood on the tearing strength is, however, considerably less with spruce sulphite pulp than with pine sulphate pulp (Stockman 1962). If the smoothness and closeness of a sheet of paper are the primary considerations, it helps if a relatively high proportion of the fibres are thin-walled (Curran 1938). In the manufacture of many types of papers, including newsprint and thin translucent papers with high resistance to folding and bursting and with good tensile strength, low-density wood is often preferred (Edlin 1965).

In the viscose process low-summerwood pulps have certain advantages. They have been found for example to show better filterability of the viscose. This is not of great importance in practice, however, as the percentage summerwood of spruce wood used as raw material is relatively low (Hedin, Malm and Wennerblom 1963).

Wood of low density is the most suitable for the production of groundwood pulp (Schafer 1961). Some types of paper made of groundwood pulp need such thin-walled fibres that low-density wood may be suitable despite the smaller yield (Besley 1962).

Both the fibre yield and the quality of paper thus depend on wood density. High-density wood improves the quality of some types, while low-density wood is good for other types, but this does not detract from the usefulness of density as an indicator of the quality of pulpwood. It is important to know, on the one hand, what kind of wood is suitable for a certain use and, on the other hand, where wood of certain kind is to be had.

The quality of the raw material of particle boards depends primarily on wood density, and the usefulness of different tree species can be compared on that basis. For a constant density of particle board, its tensile strength perpendicular to surface and bending strength decrease and the moisture absorption, linear swelling and thickness swelling increase when the wood density increases (Liiri 1964). Particle boards of the best quality are thus obtained from low-density wood. A wood density of 300 kg/solid cu.m is ideal for the strength and stiffness of the board, its dimensional stability and weight (Mitchell 1961). However, in manufacturing particle board of a fixed weight the consumption of raw material is greater, the lower the density of wood employed.

Wood density also indicates the quality of fuelwood, for the heat value of wood for each tree species is directly proportional to the wood density. The heat content of a unit volume depends principally on its dry weight and moisture and to some extent on the tree species (Heiskanen and Jokihaara 1960).

Wood density is expressed in most Finnish studies as dry density. For this determination, the volume of the test piece is measured when the wood is absolutely dry. In closer correspondence to real conditions is the basic density of wood. To determine this, the volume of the test piece is measured when the moisture of wood is above the fiber saturation point. The density values were determined in the present study as basic densities, although the term density is used for the sake of brevity in lieu of basic density. When density values are taken from earlier studies in which the dry density was used, mention will be made of this. In accordance with the general practice the term tree density or average tree density is used for the average wood density of the stem in the present study.

When extractives are removed from wood the density of the extracted wood can be determined; this value may give a better idea of, say, the paper properties than that based on unextracted wood (Barefoot, Hitchings and Ellwood 1964). The most important Finnish tree species, however, contain relatively small amounts of extractives. The average acetone extract content of Scotch pine is 2.6 per cent in southern and 4.9 per cent in northern Finland, of Norway spruce 1.5 and 1.9 per cent, respectively, and of birches 1.6 and 2.6 per cent (Finnish Pulp and Paper Research Institute 1949 a and 1949 b). As the removal of such amounts of extractives cannot appreciably increase the accuracy of using density as an indicator of wood quality, no effort was made in the present work, which is restricted to southern Finland only, to remove the extractives from wood prior to the determination of density. In the heartwood of Scotch pine the amount of extractives may sometimes be considerable, however (cf. Jalava 1952).

3. ARRANGEMENT AND LIMITATION OF THE TASK

The ultimate object in planning the present study was a national inventory of the wood density. However, it was obvious from the outset that it would be more practical to limit the first phase to a geographically small area in southern Finland, extending it later to cover the country as a whole. The purpose of the study was thus, first, to clarify the variation in wood density and the influence of different factors on it in a selected investigation area and, second, to evolve a serviceable method for a wood density inventory in which standing trees could be used. The following investigation targets were set for the realization of these aims.

1. The variability of density within the stem;
2. The variability of density between stems with special attention to the effect of environment;

3. The density of the most important types of timber;
4. Evolving a method for the performance of a nationwide study of wood density using standing trees.

The tree species selected for study were Scotch pine *(Pinus silvestris L.)*, Norway spruce *(Picea abies (L.)* Karst.), and the two botanical species of birch, the common birch *(Betula verrucosa* Ehrh.*)* and white birch *(Betula pubescens* Ehrh.). These tree species account for 97.7 per cent of the total growing stock in Finland (I l v e s s a l o 1956).

The investigation was confined to clear stem wood. Defects such as knottiness, reaction wood and decay were disregarded. The values given here for əɥʇ density of pine, spruce and birch wood thus illustrate the basic density of completely clear, defect-free wood.

This phase of investigation was concentrated on a small geographical area. An endeavour was made, however, to collect the sample in such a way that conclusions could be drawn on the basis of the results for the whole of southern Finland, until the study of the whole country could be performed. The representativeness of the sample will definitely be checked in later studies of the geographical variation of wood density.

It has become increasingly obvious since the present study was started that ensuring future wood production in Finland calls for a more intensive silvicultural programme in which artificial regeneration and fertilization of forests will be of decisive importance. It was therefore tried to find out, partly by means of literature reviews, the changes to be expected in the density of wood produced by the future forests, compared with that of the existing forests.

II. Material and methods

1. MATERIAL

The material for the study was collected in 1962—1964 from the experimental areas of the Forest Research Institute of Finland at Vilppula, Vesijako and Punkaharju, from private forests between the experimental areas of Vilppula and Vesijako, and from the Evo forest district of the State Board of Forestry. These places are included in a geographically narrow area about 100 km long north-south and about 250 km across in an east-west direction. The location of the most important places appears from Figure 1 and from below.

Locality	Location		
	Northern latitude	Eastern longitude	Height above sea level, m
Vilppula	62° 02′	24° 22′	110
Vesijako	61° 23′	25° 03′	110
Evo	61° 12′	25° 08′	130
Punkaharju	61° 47′	29° 18′	110

The climatic conditions of the places are representative of the important forest regions in southern Finland. As the weather conditions of the growing season may be of significance for wood quality, Table 1 gives information on the temperature and precipitation in the localities under investigation. The data are based on publications by the Finnish Meteorological Office (1964) and by H e i k i n h e i m o.

The sample plots had to be restricted to stands in which any tree whatsoever could be felled as a sample tree. At Vesijako and Evo, stands recently flattened by storm were also used. The distance between plots of similar tree species, forest site type and age class was a minimum of one kilometre. In the stands thus available for the research task, the greatest possible number of sample plots were chosen. The stand density, mean height, mean age and composition of tree species were determined for each sample plot.

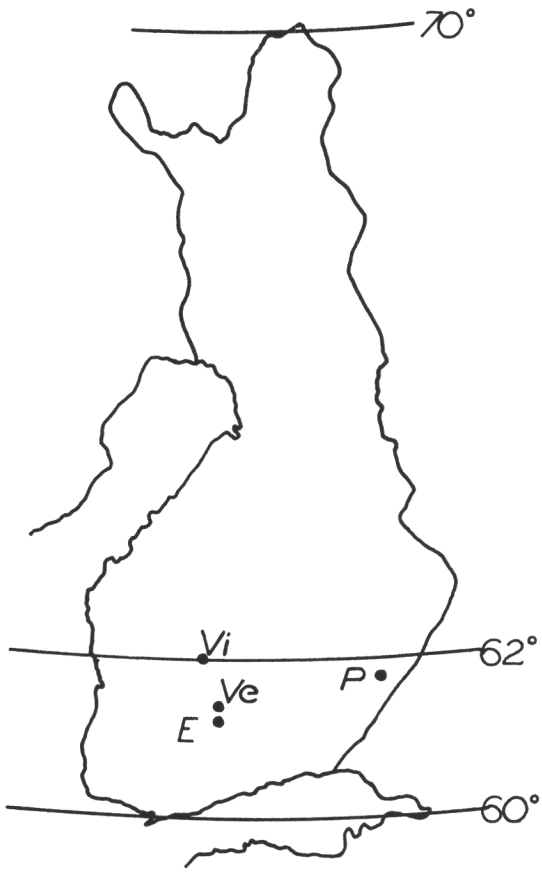


Figure 1. The location of the investigation places (Vilppula, Vesijako, Evo and Punkaharju).
Kuva 1. Tutkimuspaikkakuntien sijainti (Vilppula, Vesijako, Evo ja Punkaharju).

Table 1. Information on the average weather conditions of the investigation localities. (Padasjoki and Hattula represent Vesijako and Evo).
Taulukko 1. Tietoja tutkimuspaikkakuntien keskimääräisistä sääoloista. (Padasjoki ja Hattula edustavat sekä Vesijakoa että Evoa).

Locality *Paikkakunta*	Period *Aikajakso*	Month — *Kuukausi* V	VI	VII	VIII	IX	Whole year *Koko vuosi*
		Mean temperature, centigrades *Keskilämpötila, °C*					
Vilppula	1921—50	8.3	14.1	16.1	14.9	10.3	3.5
Hattula	1921—50	9.2	13.5	16.9	15.0	9.9	3.9
Punkaharju	1921—50	8.5	13.2	16.9	15.2	9.9	3.2
		Precipitation, mm *Sademäärä, mm*					
Vilppula	1921—50	44	63	74	75	69	596
Padasjoki	1931—60	40	44	65	71	65	542
Punkaharju	1931—60	38	53	67	72	61	566

Sample trees were collected from mineral soils and undrained swamps. The forest site types of mineral soils which were included in the investigation are *Oxalis-Myrtillus* type (OMT), *Myrtillus* type (MT), and *Vaccinium* type (VT) [1]. The forest site type was determined by using plant cover analyses. Undrained swamps irrespective of their quality were accepted for swamp sample plots, but for pine the selection was limited to pine swamps and for spruce and birch to spruce swamps. Ten stems were taken from each sample plot.

The material was grouped according to the tree age, using the following classification: 21—40, 41—60, 81—100 and 101—120 years. For birch the last class was omitted as unnecessary.

The material was small for OMT pine and VT birch and the youngest age class of the poorest sites. However, they represent cases which are encountered fairly infrequently in the practical harvesting of timber. The material also included pine and spruce of over 120 years, especially trees growing on swamps. Table 2 gives an idea of the nature of the sample trees.

Table 2. Average measurements and properties of sample trees.
Taulukko 2. Koepuitten keskimääräiset mitat ja ominaisuudet.

Property — *Ominaisuus*	Pine *Mänty*	Spruce *Kuusi*	Common birch *Rauduskoivu*	White birch *Hieskoivu*
Dbh, cm — $D_{1.3}$, *cm*	13.9	14.5	15.1	11.5
Tree length, m — *Pituus, m*	13.4	13.3	17.1	13.4
Crown proportion [1]) — *Latvussuhde* [1])	43.6	67.6	53.1	52.5
Age, years — *Ikä, vuotta*	68	78	57	54

[1]) Crown proportion = crown length as a percentage of the total tree height (N y y s s ö n e n 1954)
[1]) *Latvussuhde = latvuksen pituus prosentteina puun koko pituudesta*

Table 3. The diameter distribution of sample trees according to the diameter above the bark at breast height.
Taulukko 3. Koepuiden läpimittajakautuma kuoren päältä mitatun rinnankorkeusläpimitan mukaan.

Species *Puulaji*	Dbh, cm — $D_{1.3}$, cm								Total *Yhteensä*
	3—5	6—10	11—15	16—20	21—25	26—30	31—35	36—40	
	Number of stems, per cent of the total material *Runkojen lukumäärä, % kokonaismäärästä*								
Pine — *Mänty*	6	28	28	21	11	5	1	0	100
Spruce — *Kuusi*	3	29	29	23	11	3	1	1	100
Birches — *Koivut*	6	34	31	17	9	2	1	—	100

[1]) OMT is the moistest and most fertile of the mineral soil forest site types mentioned, VT the driest and poorest. According to the National Forest Inventory, the average annual growth at various sites in the southern half of Finland is as follows: OMT 4.5, MT 4.0, VT 2.9, undrained spruce swamps 1.9, and undrained pine swamps 0.8 solid cu.m/hectare (I l v e s s a l o 1963).

Average measurements alone do not give a sufficiently accurate picture of the sample. Table 3 gives information on the distribution of sample trees into diameter classes, the main part of the material being 6—25 cm in diameter.

No attention was paid to the botanical species in collecting the birch sample trees. Common birch and white birch were thus included in the sample in the ratio in which they occurred in the sample plots. The moister the site in question, the higher was the proportion of white birch. This affects the average density of birchwood measured at various sites.

Site	Birch species		Total
	Common	White	
	Number of trees		
OMT	69	71	140
MT	92	67	159
VT	66	4	70
Swamp	22	168	190
Total	249	310	559

From six to ten increment cores were taken from each tree at different stem heights. Additional cores were taken from the saw timber part of the tree to establish the density of sawmill waste from slabs. The primary sample thus included the following quantities of trees and cores extending from stem surface to pith.

Species	Number of trees	Number of cores
Pine	785	7 700
Spruce	751	7 890
Common birch	249	2 240
White birch	310	2 390
Total	2 095	20 220

In addition to the primary sample, different secondary samples had to be collected to decide special questions that arose in the course of the investigation. Only the most important of these are mentioned here.

To establish the accuracy of the mercury immersion method used in determination of the density of the increment cores, a sample was collected which contained a total of 652 paired observations from different species of trees. Each pair consisted of an increment core and an adjacent disk. Correction equations for the densities determined from the increment cores were calculated on the basis of this material.

A number of increment cores were selected by lot from the primary sample to establish the dependence of wood density on the percentage summerwood and the ring width. The average properties of this sample were as follows.

Species	Number of cores	Ring width mm	Percentage summerwood
Pine	336	1.41	24.5
Spruce	356	1.59	17.3
Common birch	502	1.57	..

For these cores, in addition to density, measurements were taken of the ring width, and of the percentage summerwood except for birch. To determine the effect of the juvenile wood phenomenon, measurements were also taken of the age of the core.

2. METHODS USED IN INVESTIGATION

21. Collection of samples

Ten healthy sample trees were felled in each sample plot. Leaning trees were not taken because they contain an exceptional amount of reaction wood. Age, breast height diameter above the bark, tree height, and crown proportion were determined for each stem. In addition, tree class was determined in accordance with the following classification: the height of the trees in the second tree class is 80—90 per cent, of the third 70—80 per cent and of the fourth a maximum of 60—70 per cent of the length of the dominant trees of the stand, i.e. trees of the first tree class (Ilvessalo 1928).

The felled sample trees were divided into timber assortments according to the generally used grading rules (cf. Tapion Taskukirja 1959). The following table shows the minimum top diameters under the bark of the timber assortments included in the study. The pine and spruce logs were intended for the production of lumber (cf. Heiskanen and Siimes 1960). The birch logs were destined for the preparation of veneer and plywood (cf. Yleiset vanerikoivujen . . . 1961).

Timber assortment	Pine	Spruce	Birch
	Minimum top diameter		
Logs	5″	5″	6″
Pulpwood	8 cm	8 cm	8 cm
Small-diameter pulpwood	5 cm	5 cm	..
Fuelwood	..	..	5 cm

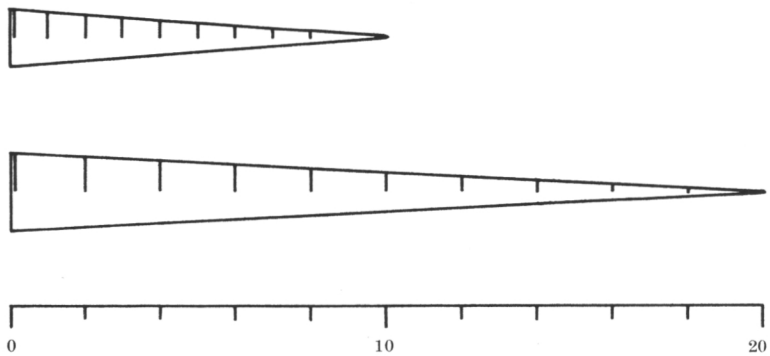


Figure 2. The sampling method in 10 and 20 m trees.
Kuva 2. Näytteenottomenetelmä 10 ja 20 metrin pituisissa rungoissa.

There were two types of samples to choose from: a disk sawn from the stem and a core taken by an increment borer. The disk method gives greater accuracy, because the disk is many times the size of a core and in it the inner and outer parts of the stem are weighted in exactly the correct ratio (E r i c s o n 1959). In a core the inner parts of the stem are over-represented.

One of the objects of the present study, however, was to evolve a method for performing a study of wood density in the country as a whole. Such a study is possible only when standing trees are used. Moreover, as transport and storage of the material limit the sample size in a comprehensive study, the most practical procedure was to collect the density samples as increment cores extending from the stem surface to the pith. The inner diameter of the bore was 5.5 mm.

An endeavour was made, by taking several increment cores per stem, to establish the variability of density at different stem heights, the density of the timber assortments prepared from the different parts of stem, the average density of the stem and the possibility of determining the average tree density from a single core. The points in the stem from which samples were taken were related to the height of the tree. The first sample was taken at stump height (cf. I l v e s s a l o 1948), i.e., at the relative height 0 per cent. The following samples were always taken from there at distances equal to 10 per cent of the stem height (Figure 2). For tall trees, the last sample was taken at a height of 90 per cent of the tree length. No samples were taken from tops with a diameter smaller than 3—4 cm. Thus, in the smallest trees, a core taken from a height of 50 per cent was sometimes the last one.

The core length and the type of timber which the core represented was noted for every core. From saw logs, two cores were taken from every

sampling point. The average density of the cross-section surface was determined in the usual way from one of the cores. The other core was divided into two parts so that the length of the inner part was equal to the top diameter of the log divided by two. This part was supposed to represent lumber. The outer part represented approximately the sawmill waste from slabs that accumulates from the log.

22. Determination of density

The density of wood can be determined in many different ways. Summaries of the methods employed have been published in the literature (e.g. Markwardt and Paul 1946, Jalava 1952, Ericson 1959 and 1966 a, Forest Biology Subcommittee 1963) and it is unnecessary to repeat them here in detail. In some methods wood density is determined without measuring at all the weight or volume of the sample. Such methods are the maximum moisture content method (Smith 1954 and 1955), the photometric measurement (Müller-Stoll 1949, Green and Worrall 1964), microscopic measurement of the amount of cellwall substance (Tsoumis 1964, Smith 1965) or the use of beta or gamma rays (Bersenev and Fokina 1958, Phillips 1960, Sandermann, Schweers and Hoheisel 1963, Holloway 1965, etc.).

The most commonly applied method of determining wood density is by measuring separately the weight and volume of the sample. The weight is obtainable easily with the help of a balance meeting the accuracy requirements. The volume can be measured in many different ways.

The simplest method of determining the volume of the sample is to calculate it from the dimensions. This requires a sample which is regular in form like a faultless increment core. The core volume is calculated from the length and diameter. The diameter value may be the bore diameter, as is the practice in the U.S. Forest Products Laboratory (Mitchell 1958). Measuring the true diameter of the core by a micrometer instead of using the bore diameter will, however, give a more accurate result (Walters and Bruckmann 1964).

Determination of the core volume from its length and diameter presupposes that the core surface is unbroken and even. It was noted when collecting the material that small fragments tend to break off the cores and thus the true volume of the core is smaller than the volume calculated on the basis of the diameter measured at the unbroken point. This was especially noticeable with rapidly growing spruce. For this reason, a method was chosen which does not necessitate an even core surface.

The volume of the increment cores was determined in the present study by the mercury immersion method evolved by Ericson. The volume of the core is determined by immersing it with a needle in a bowl of mercury placed on a Mettler K 7 T balance and reading the weight of the mercury displaced by the wood sample off the optical scale of the balance. Ericson (1959) has described the method in detail.

As the densities reported in the present study are basic densities, the core volumes were measured when the wood was wet. However, practical facilities were lacking for volume determinations of green cores. They were therefore allowed to dry to prevent decay. Before volume measurement, the cores were soaked in water until they sank. Soaked cores give practically the same accuracy as green cores (Larson 1957, Walters and Bruckmann 1964, Ericson 1966 a).

The accuracy of the mercury immersion method used for the volume measurements was established with a control material of pairs of samples consisting of a 4 cm thick disk and an increment core. The disk densities were determined by the method described by Nylinder (1953 b) in which the disk volume is obtained by measuring the amount of water displaced by the wet disk. The densities thus determined from the disks were regarded as correct values and the core densities were compared with them. The volumes obtained by this method differed from stereometrically determined volumes in Nylinder's studies by no more than 0.1 ± 0.7 per cent.

The inner part of the stem is over-represented in comparison with the outer part in a core. If the density around the pith is denoted by a and at the cambium by b, it can be shown by simple calculus that the average density of the part of the stem in question is $(a + 2b)/3$ provided that density changes linearly from pith to cambium. However, the core gives a density value of $(a + b)/2$, weighting the inner part excessively. To improve the accuracy of the result, the core may be divided into several parts. The density can then be determined separately for each part and the average density calculated by weighting each part of the core in correspondence to the cross-section area represented by it.

In the present study, cores over 4 cm long were divided into three parts as recommended by Ericson (1959). The places at which the cores were cut, starting from the pith, were core length/$\sqrt{10}$ and core length/$\sqrt{2}$. The relative areas represented by the core parts were, correspondingly, starting from the pith, 10, 40 and 50 per cent of the total cross-section area. It was thus possible to eliminate the greatest part of the above error. Using the same symbols, we obtain the following expression as the average density (D) of the core.

$$D = \left[15\,a + 5\,b + \frac{9\,(b-a)}{\sqrt{2}} + \frac{5\,(b-a)}{\sqrt{10}}\right] / 20$$

Table 4. Comparison by cores and stems of the densities determined from increment cores by the mercury immersion method (M) and from disks by the water immersion method (W).

Taulukko 4. Kairanlastuista elohopeaanupottamismenetelmällä (M) ja kiekoista veteenupottamismenetelmällä (W) määritettyjen tiheyksien vertailu lastuittain ja rungoittain.

Species *Puulaji*	Difference W—M, kg/cu.m *Erotus W—M, kg/k-m³* $\bar{d} \pm Sd$		t-value *t-arvo*
	Comparison by cores — *Vertailu lastuittain*		
Pine — *Mänty*	+ 18	± 21	$t_{222} = 12.50^*$
Spruce — *Kuusi*	+ 14	± 23	$t_{277} = 10.41^*$
Birches — *Koivut*	+ 18	± 22	$t_{150} = 12.29^*$
	Comparison by stems — *Vertailu rungoittain*		
Pine — *Mänty*	+ 18	± 11	$t_{21} = 7.41^*$
Spruce — *Kuusi*	+ 16	± 12	$t_{30} = 7.14^*$
Birches — *Koivut*	+ 19	± 8	$t_{17} = 9.79^*$

The magnitude of this particular systematic error associated with the method can be calculated from the formulas. If density increases linearly from pith towards cambium the systematic error decreases to one seventh of the original error when the core is divided into three parts as described above.

Short cores (2.5—4.0 cm in length) were cut for density calculations into two parts only, representing volumes of 30 and 70 per cent. Cores shorter than 2.5 cm were treated whole. The difference between the pith and the outer part in such short cores is small and consequently a small source of error.

It is assumed in the formulas that density changes linearly between the pith and the surface. In fact, the increase or decrease in density is rapid at first but slows down increasingly when moving from the pith towards cambium. Hence, the formulas presupposing linear correlation contain maximum errors which are bigger than the expected errors. It can be calculated from the foregoing formulas that this systematic error should not be greater than 2 kg/solid cu.m. However, the control material showed that the total error was considerably greater.

The magnitude of the systematic error of the method employed can be seen in table 4. The densities obtained by the mercury immersion method from cores were on an average 4.1 per cent smaller than the values regarded as correct. Markwardt and Paul (1946), Spurr and Hsiung (1954) and Ericson (1959) also reported that densities measured from cores were smaller than densities measured from larger cubiform bodies or disks. Wahlgren and Fassnacht (1959) did not find any significant differences between the average core and disk values. They pointed out, however, that the relationship was not in a 1 : 1 ratio at all levels of density.

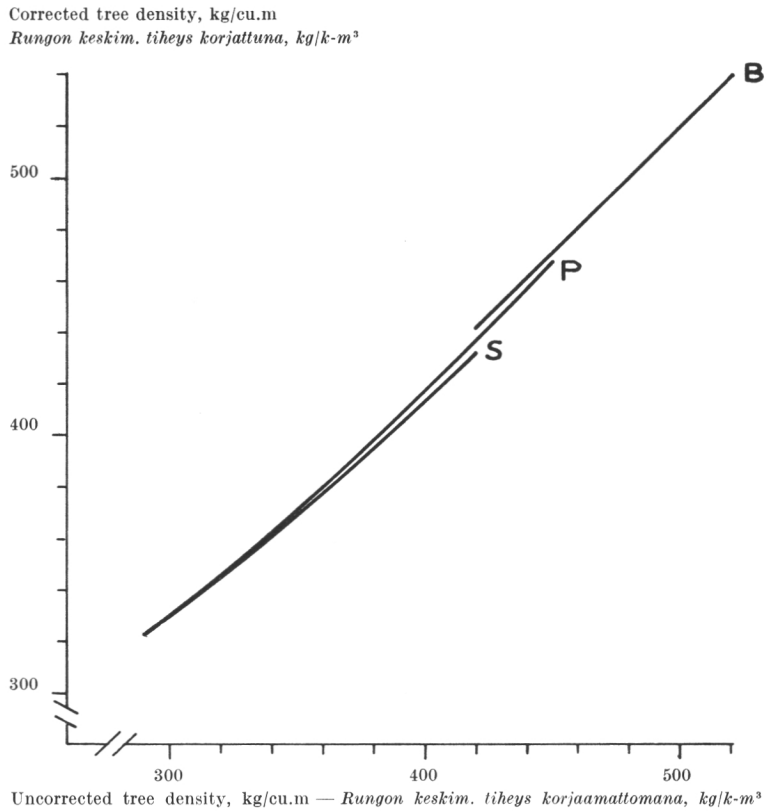


Figure 3. Correction of tree density values measured by the mercury immersion method.

Kuva 3. Elohopeaanupottamismenetelmällä kairanlastuista määritetyn rungon keskimääräisen tiheyden korjaaminen.

In the present study, the error was obviously caused partly by the failure of the mercury to cover the core surface completely because air bubbles tended to stay on it. »The condition of the wood surface is certainly of great importance for determining the occurrence of systematic errors» (E r i c s o n 1966 a). This increased the amount of mercury displaced by the core and the volume registered was too big. The unevenness of the core surface was more pronounced the lighter the weight of the wood. The mercury therefore covered most poorly cores of low density. The error in the core volume measurement was thus dependent on the core density.

The magnitude of the correction can be arrived at from regression equations which show the true density of the sample as a function of the measured core density. The correlation between the variables conforms fairly well with the straight line, but when the samples in question are of very light weight the error grows at an increasing rate while the true density

diminishes. A semi-logarithmic equation resulted in fact in a significantly bigger correlation coefficient for pine and spruce than a straight line. These equations were used to correct the density values measured by the mercury immersion method (Figure 3).

All the per-stem densities were determined from uncorrected core values and then corrected by the below-mentioned equations before the data processing. Core densities were corrected by their own equations when used for other purposes than to calculate per-stem densities.

Species *Puulaji*	Correction equation *Korjausyhtälö*	R^2	Sy.x
Pine — *Mänty*	Log Y = 2.21932 + 0.00100 X	0.9106	11.2
Spruce — *Kuusi*	Log Y = 2.22260 + 0.00098 X	0.8368	11.2
Birches — *Koivut*	Y = 33.1 + 0.970 X	0.9312	8.4

Y = corrected average tree density, kg/cu.m
X = average tree density measured by the mercury immersion method, kg/cu.m

The unexplained variation connected with the formulas is caused by several reasons. A part of the unexplained variation must be attributed to the inaccuracy of the density values determined from disks, a greater proportion to the increment core method. Another factor causing unexplained variation is the method of collecting the increment cores. Cores from the same tree were always collected from the same side of the stem. Although an endeavour was made to avoid abnormal wood insofar as this could be judged with the naked eye, the presence of compression and tension wood and other defects was a source of error in the results.

23. Statistical procedures

The data processing was performed with an IBM 1620 computer at the Computer Centre, University of Helsinki. The most important of the statistical procedures used in this investigation is regression analysis. The regression program computed among other things the following data.

— Mean of each variable
— All possible sums of squares and products of up to 14 variables
— Simple correlation coefficients for all possible pairs of variables (Table 5)
— Regression of the dependent variable on all possible linear combinations of up to ten independent variables ($Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \text{----------} \beta_n X_n$)

— Standard deviation and t-value of each constant of the regression equations
— Simple or multiple correlation coefficient for each equation
— Standard deviation of the dependent variable associated with each fitted equation
— F-value of each fitted equation

Tree density was always as the dependent variable in the analysis (Y). The independent variables (X_i) included in the regression analysis were as follows.

X_1 = density at breast height, kg/solid cu.m, *(puuaineen tiheys rinnankorkeudella, kg/k-m³)*
X_2 = density at 25 per cent height, kg/solid cu.m, *(puuaineen tiheys 25 prosentin korkeudella, kg/k-m³)*
X_3 = $X_1 \times X_{10}$ = interaction between density at breast height and tree length, *(rinnankorkeudelta määritetyn tiheyden ja puun pituuden yhteisvaikutus)*
X_4 = age, years, *(ikä, vuotta)*
X_5 = age squared, *(iän neliö)*
X_6 = logarithm of age, *(iän logaritmi)*
X_7 = reciprocal of age, *(iän käänteisluku)*
X_8 = breast height diameter above the bark, centimetres, *(rinnankorkeusläpimitta kuoren päällä, cm)*
X_9 = $X_8/X_4 = X_8 \times X_7$ = interaction between breast height diameter and tree age, *(rinnankorkeusläpimitan ja puun iän yhteisvaikutus)*
X_{10} = tree length, metres, *(puun pituus, m)*
X_{11} = X_8/X_{10} = breast height diameter divided by tree length, *(rinnankorkeusläpimitta jaettuna puun pituudella)*
X_{12} = crown proportion, *(latvussuhde)*
X_{13} = tree class (1—4), *(latvuskerros, 1—4)*
X_{14} = tree class squared, *(latvuskerroksen neliö)*
X_{15} = stand density (0.1—1.0), *(metsikön tiheys, 0.1—1.0)*

X_{16} : if the site is OMT, $X_{16} = 1$, otherwise $X_{16} = 0$
X_{17} : if the site is MT, $X_{17} = 1$, otherwise $X_{17} = 0$
X_{18} : if the site is VT, $X_{18} = 1$, otherwise $X_{18} = 0$
X_{19} : if the site is swamp $X_{19} = 1$, otherwise $X_{19} = 0$
} site quality *(kasvupaikan laatu)*

$X_{20} = X_{16} \times X_7 = X_{16}/X_4$
$X_{21} = X_{17} \times X_7 = X_{17}/X_4$
$X_{22} = X_{18} \times X_7 = X_{18}/X_4$
$X_{23} = X_{19} \times X_7 = X_{19}/X_4$
} interaction between tree age and site quality (pine and birches), *(kasvupaikan laadun ja puun iän yhteisvaikutus männyllä ja koivuilla)*

Table 5. Simple correlation coefficients for some pairs of independent variables.
Taulukko 5. Eräitten riippumattomien muuttujien välisiä korrelaatiokertoimia.

↓ → Variable *Muuttuja*	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
	Simple correlation coefficient — *Korrelaatiokerroin*											
	Pine — *Mänty*											
X_1	1.00	.85	.48	.53	.44	.59	—.61	.22	—.34	.30	—.07	—.30
X_2	—	1.00	.24	.47	.39	.52	—.54	—.00	—.48	.07	—.11	—.28
X_3	—	—	1.00	.35	.25	.44	—.49	.82	.31	.97	—.08	—.35
X_4	—	—	—	1.00	.97	.97	—.89	.39	—.51	.26	.34	—.31
X_5	—	—	—	—	1.00	.89	—.77	.35	—.48	.18	.40	—.23
X_6	—	—	—	—	—	1.00	—.97	.43	—.50	.36	.27	—.37
X_7	—	—	—	—	—	—	1.00	—.44	.45	—.41	—.19	.41
X_8	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.50	.85	.43	—.06
X_9	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.43	.20	.27
X_{10}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	—.07	—.33
X_{11}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.43
X_{12}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00
	Spruce — *Kuusi*											
X_1	1.00	.91	.01	.44	.43	.43	—.40	—.24	—.55	—.20	—.18	—.28
X_2	—	1.00	—.05	.40	.39	.39	—.36	—.26	—.55	—.23	—.17	—.30
X_3	—	—	1.00	.44	.39	.47	—.48	.90	.39	.97	.04	.00
X_4	—	—	—	1.00	.98	.97	—.90	.35	—.50	.34	.12	—.33
X_5	—	—	—	—	1.00	.91	—.80	.31	—.48	.29	.13	—.29
X_6	—	—	—	—	—	1.00	—.97	.37	—.50	.37	.09	—.36
X_7	—	—	—	—	—	—	1.00	—.38	.47	—.39	—.08	.37
X_8	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.56	.94	.40	.13
X_9	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.51	.27	.37
X_{10}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.08	.05
X_{11}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.26
X_{12}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00
	Common birch — *Rauduskoivu*											
X_1	1.00	.80	.50	.40	.37	.41	—.41	.25	—.06	.28	.19	.04
X_2	—	1.00	.38	.43	.40	.46	—.47	.20	—.18	.21	.16	.00
X_3	—	—	1.00	.42	.35	.48	—.51	.82	.47	.97	.47	.14
X_4	—	—	—	1.00	.98	.98	—.91	.43	—.35	.37	.40	.08
X_5	—	—	—	—	1.00	.93	—.83	.37	—.35	.29	.37	.06
X_6	—	—	—	—	—	1.00	—.98	.47	—.33	.43	.40	.09
X_7	—	—	—	—	—	—	1.00	—.47	.32	—.46	—.37	—.10
X_8	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.63	.85	.84	.37
X_9	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.53	.55	.31
X_{10}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.47	.49
X_{11}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.14
X_{12}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00
	White birch — *Hieskoivu*											
X_1	1.00	.83	.37	.30	.26	.32	—.32	.09	—.14	.15	.03	—.06
X_2	—	1.00	.23	.34	.32	.35	—.34	.05	—.20	.05	.06	—.03
X_3	—	—	1.00	.35	.29	.39	—.42	.81	.49	.97	.32	.08
X_4	—	—	—	1.00	.98	.98	—.92	.38	—.38	.31	.37	.02
X_5	—	—	—	—	1.00	.92	—.84	.34	—.38	.25	.35	.02
X_6	—	—	—	—	—	1.00	—.98	.41	—.36	.35	.39	.01
X_7	—	—	—	—	—	—	1.00	—.43	.32	—.38	—.39	—.01
X_8	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.66	.85	.77	.30
X_9	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.55	.50	.29
X_{10}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.35	.41
X_{11}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	.10
X_{12}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00

$$\left.\begin{aligned} X_{20} &= X_{16} \times X_4 = X_{16}/X_7 \\ X_{21} &= X_{17} \times X_4 = X_{17}/X_7 \\ X_{22} &= X_{18} \times X_4 = X_{18}/X_7 \\ X_{23} &= X_{19} \times X_4 = X_{19}/X_7 \end{aligned}\right\}$$ interaction between tree age and site quality (spruce), *(kasvupaikan laadun ja puun iän yhteisvaikutus kuusella)*

The calculations concerning density variation within the stem, density of different timber assortments, and the secondary samples were performed without computer help.

In all tests of this investigation the level of significance is 0.05. An asterisk after a test value indicates that the result of the test is significant at the five per cent level.

III. Results

1. DENSITY VARIATION WITHIN THE STEM

11. Variables causing density variation within the stem

As mentioned before, percentage summerwood is one of the most important factors affecting the density of softwoods, for summerwood density is 2—3 times the density of springwood. Trendelenburg and Mayer-Wegelin (1955) reported a number of studies in which the ratio of the dry densities for summerwood and springwood was 2.4—3.0 for Scotch pine and 1.9—2.8 for Norway spruce.

Spring- and summerwood are not distinguishable with equal clarity in diffuse-porous hardwoods, but the wood forming in them at the beginning of the growing season does differ from the wood that grows later in the summer. The relative volume of vessels compared with other cells decreases towards the outer margin of the annual ring, especially in ring-porous but also in diffuse-porous hardwoods. There is, on the other hand, a negative correlation between birch wood density and the vessel area (Wallden 1934).

In the present investigation, 53 per cent of the density variation of the increment core in pine wood and 40 per cent in spruce wood can be attributed to variation in percentage summerwood when the dependence between density and percentage summerwood is denoted by a straight line. The change in percentage summerwood affects density more sharply in spruce wood than in pine wood (Figure 4), for the slope of the regression line is significantly steeper in the equation for spruce than in the equation for pine ($t_{690} = 4.46$*).

Species	Regression equation	R^2	Sy.x
Pine	$Y = 307.3 + 3.49\,X$	0.5279	27.3
Spruce	$Y = 296.9 + 4.61\,X$	0.4019	32.3

Y = wood density of increment core, kg/solid cu.m
X = percentage summerwood

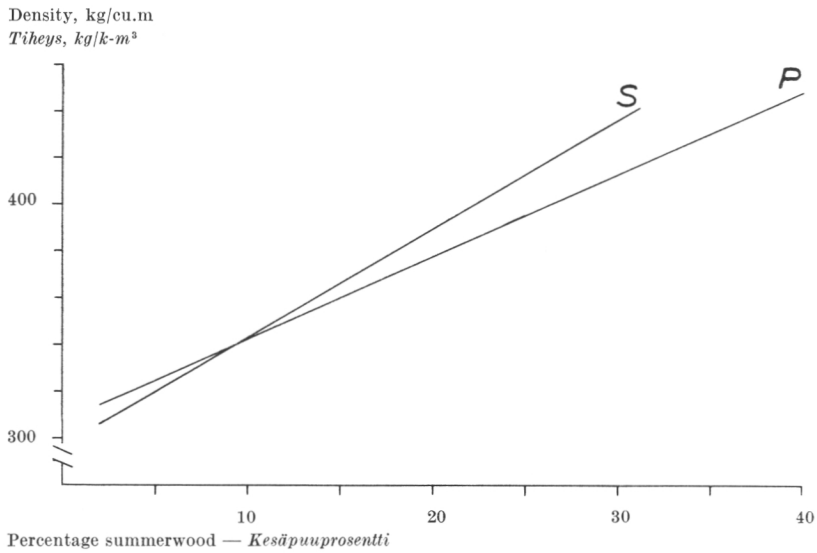


Figure 4. Correlation between wood density and percentage summerwood of the increment core.

Kuva 4. Puuaineen tiheyden riippuvuus kairanlastun kesäpuuprosentista.

In Larson's (1957) study 60 per cent of the variation in the density of *Pinus Elliottii* could be attributed to percentage summerwood, and Schafer (1949) succeeded in giving the corresponding explanation for 72 per cent of the density variation of pulpwood bolts made of southern yellow pines. In Pillow's (1954) study on *Pinus taeda* the comparable figure was 38 per cent. Van Buijtenen (1964) determined the regression between density and percentage summerwood in *Pinus Elliottii* separately for adult wood and juvenile wood. The value 0.79 was established for the coefficient of determination for the former, while the value for juvenile wood was only 0.27.

In the present study, using the density variation of the increment core, a smaller proportion of the total variation than in some other studies could be explained by the variation in percentage summerwood. However, it is evident that a considerable part of the wood density variation is caused by the variation in percentage summerwood.

All wood density variation cannot be explained by percentage summerwood for, in addition to the proportions of springwood and summerwood, the density of springwood and of summerwood also varies, depending on different factors. »Density of summerwood in the annual ring is related to summerwood tracheid characteristics. Negative genotypic and phenotypic correlation exists between summerwood density and tracheid radial lumen

Table 6. Percentage summerwood of pine and spruce in annual rings of different ages.
Taulukko 6. Mänty- ja kuusipuun kesäpuuprosentti eri-ikäisissä vuosilustoissa.

Ring age, years — *Luston ikä, vuotta*	Pine — *Mänty*	Spruce — *Kuusi*
	Percentage summerwood — *Kesäpuuprosentti*	
	$\overline{X} \pm s$	$\overline{X} \pm s$
1—5	16.3 ± 5.1	14.7 ± 6.9
6—10	23.7 ± 5.9	16.2 ± 5.9
11—15	26.7 ± 6.3	18.1 ± 5.7
16—20	28.7 ± 6.5	19.5 ± 4.9
21—30	28.6 ± 6.0	21.5 ± 4.5
31—40	30.6 ± 6.6	22.6 ± 4.6
41—50	29.5 ± 9.8	22.7 ± 4.9
51—60	27.7 ± 9.2	23.5 ± 5.2

diameter, radial width, and tangential width. Double-wall thickness is phenotypically and positively correlated with density but no genotypic correlation is indicated. In springwood radial lumen diameter, tracheid radial width, and tracheid tangential width are phenotypically and genotypically correlated with density in a negative direction. Double-wall thickness is phenotypically and genotypically correlated with density in a positive direction» (Goggans 1962).

There is a general tendency for both the density of summerwood and its percentage in the annual ring to increase year by year up to a certain ring age (Rendle 1959). This causes variation in the wood density in the radial direction of the stem. The change in percentage summerwood in pine and spruce from pith to cambium can be seen in Table 6.

The percentage summerwood of Scotch pine is exceptionally low in the vicinity of pith. It increases from the pith with age (Sirén 1959, Dietrichson 1964). The proportion of summerwood increases to 28—29 per cent within the first 15—20 annual rings.

The percentage summerwood of pine in southern Finland seems to remain at 28—29 per cent from the 20th year until at least the 60th. But several investigations have shown that the percentage summerwood of many tree species decreases at a later tree age (Larson 1957). The percentage summerwood of pine in southern Finland is 28.2 according to Jalava (1934 b) and 21.9 according to Siimes (1938).

The increase in percentage summerwood from pith to cambium is also evident in spruce. The change is not equally abrupt as in pine, but it seems to continue longer.

There is a causal relationship between the low percentage summerwood in the vicinity of pith and juvenile wood formation. Juvenile wood is characterized by thin cell walls, less dense summerwood, a gradual transition from spring- to summerwood and a small proportion of summerwood

(R e n d l e 1960). The density of juvenile wood is therefore low. A progressive increase in cell dimensions from pith to cambium occurs within the juvenile wood zone. The consequence is an increase in density in the radial direction.

In pines the gradual transition from juvenile wood to adult wood causes a quite distinct increase in density in the area of the first annual rings. The juvenile wood zone, however, is narrow, 5—8 annual rings in *Pinus Elliottii* and 8—11 in *Pinus taeda* (Z o b e l, W e b b and H e n s o n 1959). For Scotch pine, the width of the juvenile wood zone has not been established, but as it is a longer-lived tree species its juvenile wood zone can be assumed to contain slightly more numerous annual rings (cf. R e n d l e 1959). According to an anonymous investigation (1957), the annual ring of Scotch pine generally attains the normal adult pattern between the tenth and the twentieth years.

Almost all studies of juvenile wood have been concerned with pine species. Its significance may be smaller for certain other tree species.

Wood density increases from pith to cambium also outside the juvenile zone. The following regression equations show the dependence of the average density of the increment core on the core age. The age of pine and spruce cores in the sample was 4—100 years and that of common birch cores 4—75 years.

Species	Regression equation	R^2	Sy.x.
Pine	$Y = 344.8 + 2.229\,X - 0.01477\,X^2$	0.4049	27.2
Spruce	$Y = 358.8 + 0.828\,X - 0.00376\,X^2$	0.0704	40.1
Common birch ...	$Y = 424.5 + 2.999\,X - 0.02400\,X^2$	0.2715	34.2

Y = wood density of increment core, kg/solid cu.m
X = increment core age, years

The best coefficients of correlation were obtained from the above equation models. Even then, in spruce wood it was possible to relate only 7 per cent of the variation in the average density of the increment core to age. In pine wood the variation explainable by core age was 40 per cent of the total variation.

The average density of a pine increment core is at its maximum when the core is some 80 years of age, after which the density begins to decrease. The corresponding point of culmination is reached in spruce a few decades later, in common birch a little earlier (Figure 5).

It can be assumed from the foregoing that the average density of a whole tree also reaches its maximum at a certain age. However, this age limit must be considerably higher for the whole tree than for an individual increment core.

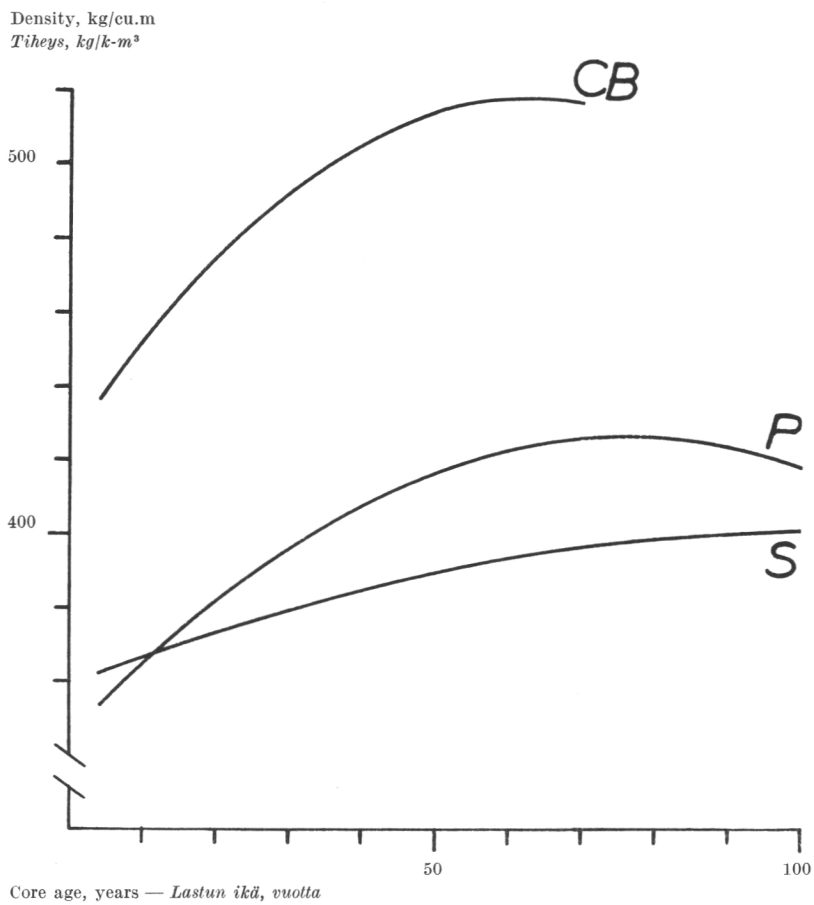


Figure 5. Correlation between wood density and core age.
Kuva 5. Puuaineen tiheyden riippuvuus kairanlastun iästä.

The question of the effect of ring width on wood density has aroused a great deal of controversy. Knowledge of this matter is of primary importance for practical silviculture, but opinions on the subject are still contradictory. The discovery of juvenile wood formation has given rise to new points of view, but there is no unanimity.

Numerous investigators have concluded that there is a negative correlation between density and ring width in pine and spruce wood. For Scotch pine only, this view is advocated by Hartig (1884), Kinnman (1923), Lundberg (1928), Volkert (1941), Burger (1948), Ylinen (1951), Moltesen (1957), Echols (1958) and Nylinder (1961 a), and for Norway spruce by Hartig (1884), Cieslar and Janka (1902), Kinnman (1923), Volkert (1941), Klem

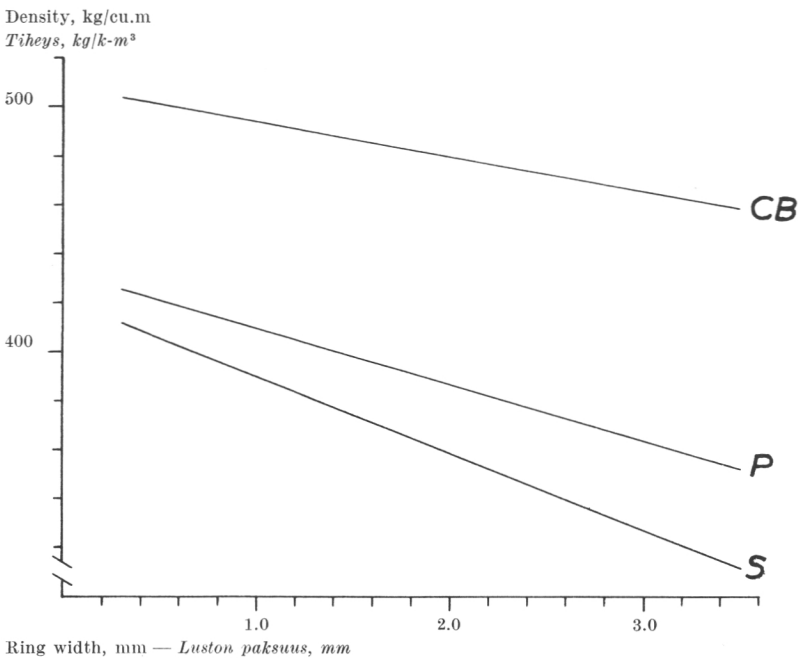


Figure 6. Correlation between wood density and ring width of the increment core.
Kuva 6. Puuaineen tiheyden riippuvuus kairanlastun vuosiluston paksuudesta.

(1944), Wegelius (1949), Nylinder and Hägglund (1954), Aldridge and Hudson (1955 and 1958), Moltesen (1957), Hale (1962) and Bernhart (1964). On the other hand, it has been observed in some studies that the density of Scotch pine is small when the annual rings are very narrow. According to Siimes (1938), the density of pine is thus highest when the width of the annual ring is 1.0—1.2 mm, and according to Škripeň and Riasová (1958) when it is 1.4 mm.

In the present work, the correlation between wood density and ring width was calculated from a material in which the ring width was 0.3—3.5 mm and the increment cores were under 100 years old. The regression was denoted by a straight line.

Species	Regression equation	R^2	Sy.x
Pine	$Y = 434.6 - 29.7\,X$	0.2823	33.7
Spruce	$Y = 410.7 - 21.5\,X$	0.1743	37.8
Common birch	$Y = 507.1 - 19.6\,X$	0.0969	42.1

Y = wood density of increment core, kg/solid cu.m
X = ring width, mm

The existence of the juvenile wood phenomenon was not taken into consideration above. However, naked eye examination of the cross section of the wood reveals that the annual rings are wider than the average in the vicinity of pith. The only exceptions are trees which, when young, have grown slowly in the shade of large trees, such as undergrowth spruces. As wide annual rings are often a feature of juvenile wood, juvenile wood formation must also be considered in analysing density and ring width.

According to Turnbull (1947), the density of *Pinus patula* increases outwards from the pith in proportion to the age or number of rings from the pith. As ring width nearly always decreases in the same direction, »there appears to be a relation between narrow rings and high density, but this relation is primarily accidental». »The failure to recognize the existence and the properties of juvenile wood has led to many of the conclusions where rate of growth has been found to be strongly related to wood density» (Goggans 1961).

A surprising change occurs in the structure of regression equations when the effect of juvenile wood is eliminated by excluding from the material the pith part of cores cut into three (Figure 6). The correlation between wood density and ring width is then smaller in pine and birch wood but considerably greater in spruce wood than the above.

Species	Regression equation	R^2	Sy.x
Pine	$Y = 432.1 - 23.0\,X$	0.1098	37.7
Spruce	$Y = 420.6 - 31.1\,X$	0.4242	27.3
Common birch	$Y = 508.2 - 14.7\,X$	0.0650	40.2

Y = wood density of increment core, kg/solid cu.m
X = ring width outside the juvenile wood zone, mm

Studies in which the juvenile wood phenomenon has been taken into consideration have generally established that the correlation between the wood density of pines and the annual ring width is smaller than previously assumed. Volkert (1941) assumed that this correlation may be only ostensible. The correlation was later found to be fairly weak for several pine species (Cockrell 1944, Spurr and Hsiung 1954, Banks 1955, Banks and Schwegmann 1957, Larson 1957, Cooper 1960).

The present investigation shows, however, that no conclusions regarding the properties of spruce wood can be drawn on the basis of the juvenile wood formation of pines. If the wood in the vicinity of the pith is disregarded, the wood density of spruce increases as the ring width narrows. This is supported by the regression equations given by Tamminen (1962 and 1964) which show the correlation between sapwood density and percentage

summerwood and the ring width. The coefficient of determination obtained from the equations is 0.40 for spruce, but only 0.22 for pine.

The negative correlation between spruce wood density and ring width is largely dependent on the negative correlation between percentage summerwood and ring width (Wegelius 1946, Nylinder 1953 b, Klem 1957). In contrast, the corresponding correlation is weaker for pines (Larson 1957). However, Risi and Zeller (1960) found no correlation between the wood density and ring width of *Picea mariana*. It is worth of mentioning that the average ring width of spruce pulpwood in a study of the 1930s was 1.96 mm in the area in question here (Vuoristo 1937).

12. Density variation in the radial direction of the stem

The objective set was to find patterns in accordance with which wood density varies within the tree. The problem was divided into two parts: variation in density in the radial direction of the stem, and variation in density in the longitudinal direction of the stem. However, as these part tasks are interlinked, they are inevitably discussed concurrently from time to time.

Table 7 shows the density variation in different parts of the stem in pine, spruce and birches. The material was divided into three age classes. These classes are not fully comparable because the youngest contains a higher proportion of trees that have grown on good sites than the older age classes. Three values are given for each relative height. The first represents the inner part of the stem which contains 10 per cent of the stem volume at the height in question. The third value represents the surface of the stem, and correspondingly, 50 per cent of the stem volume. The middle value denotes the density of the part of the stem between other two parts.

The density of pinewood increases from pith to cambium. This is seen most clearly in the middle age class of the material and, again, at the relative height of 10 per cent. An exception may be the butt part of old stems on account of extractives that develop in heartwood (cf. Jalava 1952).

A density increase from pith to cambium is in fact characteristic of most softwoods (Goggans 1961). It has been established for Scotch pine by Wijkander (1897), Helander (1918), Trendelenburg (1939), Jalava (1946), Nylinder (1953 a) and Tamminen (1962). The change is similar in several other pine species (Orman 1952, Spurr and Hsiung 1954, Banks 1955, Yandle 1956, Kelsey and Steele 1956, Jayne 1958, etc.).

Table 7. Density of pine, spruce and birch wood in different parts of the stem.
Taulukko 7. Mänty-, kuusi- ja koivupuun tiheys rungon eri osissa.

Relative stem height, per cent *Suhteellinen korkeus, %*	Tree age, years — *Puun ikä, vuotta*								
	— 40			41 — 80			81 +		
	Part of the core — *Lastun osa*								
	Inner *Ydin*	Middle *Keski*	Outer *Pinta*	Inner *Ydin*	Middle *Keski*	Outer *Pinta*	Inner *Ydin*	Middle *Keski*	Outer *Pinta*
	Density, kg/solid cu.m — *Tiheys*, kg/k-m³								
	Pine — *Mänty*								
0	390	402	424	427	443	470	481	476	478
10	343	371	414	363	408	459	405	444	465
20	334	353	395	360	392	436	390	420	443
30	333	343	382	354	384	424	378	404	429
40	330	344	365	350	379	406	374	394	413
50	334	345	364	354	376	397	370	389	399
60	333	341	344	357	368	382	374	385	384
70	..	..	..	345	363	364	374	378	376
	Spruce — *Kuusi*								
0	386	353	363	396	370	384	415	401	404
10	349	344	361	369	366	387	386	398	407
20	341	338	352	356	362	385	379	391	402
30	338	338	353	354	361	377	371	383	397
40	342	332	349	356	360	375	372	382	389
50	349	335	347	365	368	373	372	380	382
60	352	334	344	359	359	369	374	377	377
70	..	..	..	361	358	366	375	376	369
	Birches — *Koivut*								
0	456	487	519	468	498	517	490	516	521
10	440	471	503	458	488	512	488	515	527
20	441	468	495	454	486	504	472	505	518
30	445	460	490	452	485	499	474	505	520
40	439	465	485	454	483	497	471	502	517
50	429	454	471	462	486	499	473	501	508
60	438	436	464	453	476	503	487	503	494
70	..	..	..	449	473	467	469	494	499

The change in the density of Scotch pine is sharpest in the area of juvenile wood, but continues outside this zone as well. The density of forming wood depends appreciably on the percentage summerwood and on the stem age at the height in question, but the width of the annual ring is also significant. The average density of the cross section of pine seems to reach its maximum when the tree age at the stem height in question is about 80 years.

The wood density of spruce changes a little more irregularly in the radial direction of the stem. It is relatively high in the immediate vicinity of pith, higher than in Scotch pine. The density decreases first towards the cambium, contrary to the situation with the pine, but, a few annual rings later, begins again to increase towards the cambium. No endeavour was made in this connection to establish the point where the change takes place. Owing to

the sampling method employed, the above change in density can be established in Table 7 only in the youngest age class. In a study by Nylinder (1953 b), the density of wood in a spruce plantation was at its minimum five annual rings from the pith. In *Picea sitchensis* the corresponding point was 10—15 rings from the pith (Bryan and Pearson 1955).

The wood density in spruce does not apparently greatly depend on the ring distance from the pith. On the other hand, percentage summerwood and ring width appear to be of great significance. It may be assumed from the last-mentioned factor that silvicultural treatments may affect wood quality particularly strongly in spruce wood.

The wood density of birches increases regularly from pith to cambium. This has been established also by Stauffer (1892), Wallden (1934), Jalava (1946) and Kujala (1946). However, the changes in birches are smaller than those in Scotch pine and the effect of ring width in particular on wood density is weak.

13. Density variation in the longitudinal direction of the stem

Density variation in the longitudinal direction of the stem is important for the value ratios of timber assortments. As the density variation within the stem is usually greater than the inter-stem density variation, it is important for the timber user to be familiar with it.

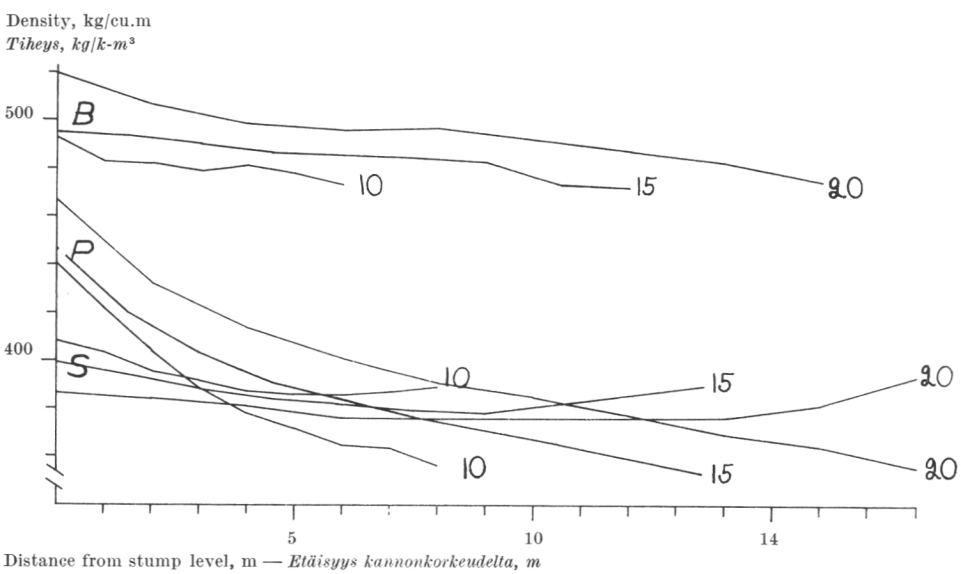


Figure 7. Density of 10, 15 and 20 m pines, spruces and birches at different stem heights.
Kuva 7. Pituudeltaan 10-, 15- ja 20-metristen mäntyjen, kuusien ja koivujen puuaineen tiheys rungon eri korkeuksilla.

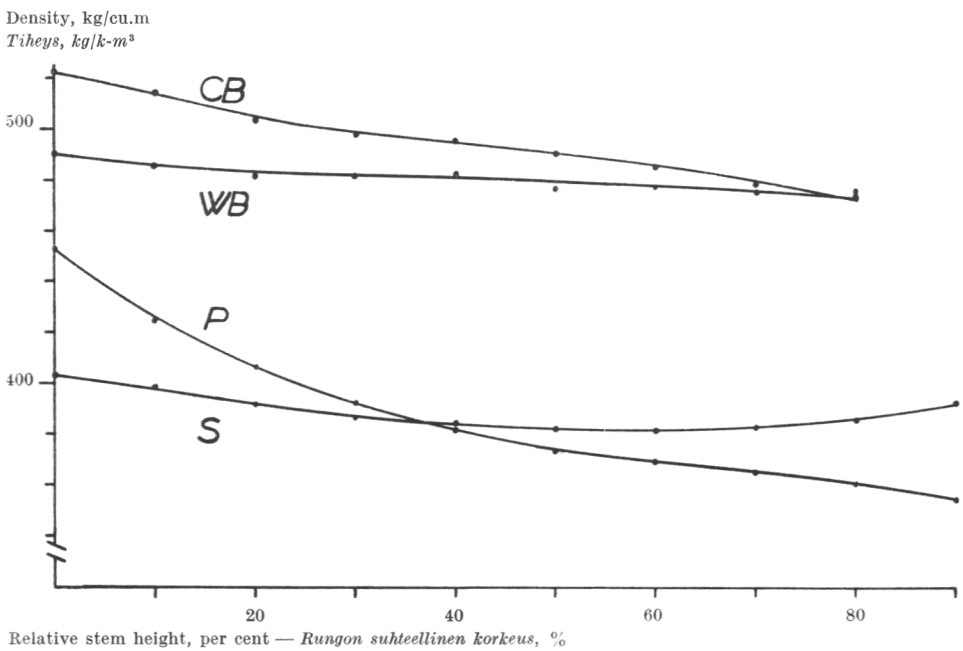


Figure 8. The variation pattern of wood density in the longitudinal direction of the stem.
Kuva 8. Puuaineen tiheyden vaihtelu rungon pituussuunnassa.

Density variation in the longitudinal direction of the stem depends on the tree size. It is greatest in a long stem, but sharpest in a short stem. Figure 7 shows that the average wood density of pine and birches increases with tree length. For spruce, the situation is reversed. In pine and birches, the difference in the density of stems of varying sizes is influenced more by positive correlation between density and age, in spruce by the negative correlation between density and rate of growth. In harvesting spruce, small stems are obtained mostly from the slow-growing trees of the suppressed tree classes.

The density variation in the longitudinal direction in stems of varying sizes can be illustrated by a single curve when the absolute heights are converted to relative heights. This gives variation patterns of general applicability for each tree species, and these are shown in Figure 8 fitted with the naked eye. It is possible with the help of these patterns to compare the different tree species.

Density of pinewood decreases from the butt towards the crown, at first more sharply, but within the living crown more slowly. S p u r r and H s i u n g (1954) listed a number of studies showing that this trend prevails not only in pines but also in many other softwoods.

The variation pattern of density in the spruce stem differs from most of the other tree species. The density of the butt end at first decreases on moving towards the crown, but from the middle of the stem it begins to increase again. A similar conclusion was drawn by Bertog (1895) according to whom the wood density of spruce decreases from the butt to the lower limit of the living crown but increases again within the crown towards the top of the tree. This result was arrived at by Bernhart (1964) as well. Some authors are of the opinion that density of spruce wood in the longitudinal direction of the stem is relatively constant (Turnbull 1942, Jalava 1946). The density of *Picea sitchensis* decreases towards the crown according to one report (Bryan and Pearson 1955), while a contrary trend was noted in *Picea glauca* in another study (Hale and Fensom 1931).

The density of birches decreases from the butt towards the crown. This has been reported also by Stauffer (1892), Jalava (1946) and Kujala (1946). Wood in the butt is 30 kg/solid cu.m heavier in common birch than in white birch. However, the density of common birch decreases more sharply towards the crown, and the wood density in these two birch species is the same at the relative height of 90 per cent.

»Springwood formation is associated with active crown growth, and on the main trunk the bulk of the springwood is produced during the period of terminal elongation. Proximity of the crown assures a high production of springwood in the stem» (Larson 1962). Therefore the springwood portion of the annual ring tapers downward and the summerwood portion tapers upward (Turnbull 1937).

As the living crown of the tree recedes from the butt, the effect of auxin that develops in the crown on the butt end of the cambium, and via it on the properties of the wood that develops in the butt end of the tree, decreases. It is partly for this reason that the density of the pine and birch wood which develops at a certain height increases with age, as was shown by the regression equations presented earlier.

The development is different in the spruce stem. The living crown does not contract equally rapidly as in the pine and birches. The crown of spruce trees in the investigation material comprised an average of 68 per cent of the total stem length, while the comparable figure for pine was 43 and for birches 50 per cent.

A considerable proportion of spruce wood develops within the crown. The wood forming in the different parts of the stem is thus fairly even in density. This concurs well with the strength requirement made of the stem because, since the crown reaches far down, the wind pressure is distributed more evenly over the different parts of the stem than in the pines. The different density gradient of common birch and white birch may also be

caused partly by the different self-pruning of the stem. The self-pruned part of the stem is generally longer in common than in white birch (Heiskanen 1957).

The variation of wood density in the longitudinal direction of the stem shows that the densities of timber assortments prepared from different parts of the stem differ. This question, which is of especial interest to the pulp and paper industry, is discussed in Chapter 3. The density variation in the longitudinal direction of the stem must be taken into consideration also in the collection of density samples. The following chapter deals with its effect on the sampling method.

14. Estimating the average tree density

When the present investigation was begun it was known that several wood density studies would be needed in the next few years. The tasks will be such that the samples must be collected by increment borer from standing trees. No such method has been used so far in Finnish conditions. However, Vuokila (1960) proved that the average tree density of *Larix sibirica* can be measured most accurately from samples taken at the height of 4—5 m. Nylinder (1961 a and 1961 b) established that at 10 per cent height the density of pine is 7 per cent and of spruce 2 per cent higher than the average tree density. The difference was not constant, but depended on, for instance, the tree age.

The development of an effective sampling method for the research tasks in question was one of the problems of the present work. By the time the investigation was commenced Wahlgren and Fassnacht (1959), U.S. Forest Products Laboratory, had worked out regression equations for southern yellow pines. These equations showed the average tree density as a function of the reciprocal of the density of an increment core taken at breast height. The best of the coefficients of determination given by these equations was for *Pinus taeda*, 0.53, and the poorest that for *Pinus Elliottii*, 0.25. Multiple regression analyses did not increase appreciably the proportion of explained variation. It had also been shown in young *Pinus taeda* and *Pinus Elliottii* trees that there is a very close association between the density of juvenile wood at breast height and that of the entire zone of juvenile wood (Zobel, Webb and Henson 1959).

The density of Scotch pine, Norway spruce and birches is higher at breast height than the average tree density (Table 8). But, despite the fact that the density at breast height tends to give too high average tree density, it does not alter the density ranking of the trees (Barefoot,

Table 8. Density (kg/solid cu.m) at breast height and average tree density.
Taulukko 8. Puuaineen tiheys (kg/k-m³) rinnankorkeudella ja keskimäärin koko rungossa.

Species — *Puulaji*	Density at breast height *Tiheys rinnankorkeudella* $\bar{X} \pm S$	Average tree density *Rungon keskim. tiheys* $\bar{X} \pm S$	Difference *Erotus*	t-value *t-arvo*
Pine — *Mänty*	432.4 ± 44.3	408.6 ± 32.8	23.8	$t_{1568} = 11.59^*$
Spruce — *Kuusi*	392.4 ± 33.8	386.8 ± 30.0	5.6	$t_{1500} = 3.36^*$
Common birch — *Rauduskoivu*	509.8 ± 37.4	496.9 ± 31.2	12.9	$t_{496} = 4.18^*$
White birch — *Hieskoivu*	484.5 ± 33.5	481.9 ± 29.2	2.6	$t_{618} = 1.03$
Birches, combined — *Koivut, yhdistettyinä*	495.8 ± 37.4	488.6 ± 31.0	7.2	$t_{1116} = 3.50^*$

Hitchings and Ellwood 1964). A sample taken at breast height, thus, permits comparison of the average tree density for a certain tree species.

When the average tree density is determined from a sample taken at breast height, the result will be too high unless corrected. The correction is best performed by using a regression equation which gives the average tree density as the function of density measured at breast height. In addition to simple linear regression, multiple linear regression was also tested for different tree species.

The results of the regression analysis are given in Table 9. Variables anumerated on p. 29 were tested as independent variables. The table gives the best equations for one, two and three independent variables and for comparison with some earlier studies equations, in which X_1 and X_8 are independent variables. The following variables appear in the table.

Y = average tree density. It was calculated as the weighted mean of increment cores taken from the stem. The mean was corrected for the error caused by the mercury immersion method.

X_1 = density at breast height. As no increment core was taken at breast height, this value was obtained by interpolation from the densities of the increment cores taken both sides of the 1.3-metre height. The value obtained was corrected as above.

X_3—X_{10}: See page 29.

Density at breast height was thus determined by using two increment cores. This involved interpolation in which the increment core taken at 10 per cent height generally had more weight. If the stem height was exactly 13 m, the value was obtained solely from an increment core taken at 10 per cent height. The average height of all the tree species was roughly 13 m.

Table 9. Regression of the average tree density on the density at breast height.[1])
Taulukko 9. Rungon keskimääräisen tiheyden ja rinnankorkeudelta määritetyn tiheyden välinen riippuvuus.[1])

Species *Puulaji*	Regression equation *Regressioyhtälö*	R^2	Sy.x
Pine — *Mänty*	$Y = 129.0+0.648X_1$	.7663	15.9
	$= 129.0+0.682X_1-1.039X_8$	.8053	14.5
	$= 170.0+0.589X_1-67.8X_9$	.8138	14.2
	$= 155.8+0.634X_1-46.7X_9-0.738X_{10}$	.8224	13.9
Spruce — *Kuusi*	$Y = 66.4+0.817X_1$	.8471	11.7
	$= 79.4+0.799X_1-0.409X_8$	.8541	11.5
	$= 73.6+0.818X_1-0.00145X_3$	.8560	11.4
	$= 89.9+0.779X_1-15.2X_9-0.429X_{10}$	.8571	11.4
Common birch — *Rauduskoivu*	$Y = 122.8+0.734X_1$	.7716	15.0
	$= 122.2+0.737X_1-0.074X_8$	.7718	15.0
	$= 162.1+0.682X_1-630X_7$	.7905	14.3
	$= 168.2+0.700X_1-982X_7-0.00028X_3$	.7922	14.3
White birch — *Hieskoivu* ..	$Y = 95.1+0.798X_1$	.8414	11.6
	$= 95.1+0.798X_1+0.000X_8$	.8414	11.6
	$= 98.5+0.777X_1+0.128X_4$	.8477	11.4
	$= 36.1+0.907X_1+1.249X_4-0.00232X_3$	.8501	11.4
Birches, combined — *Koivut, yhdistettyinä*	$Y = 118.5+0.746X_1$	.8134	13.4
	$= 117.4+0.753X_1-0.146X_8$	.8141	13.4
	$= 126.3+0.746X_1-30.5X_9$	.8248	13.0
	$= 143.4+0.722X_1-23.7X_9-338X_7$	.8299	12.8

[1]) Density at breast height (X_1) was obtained by interpolation from the densities of the increment cores taken both sides of the 1.3-metre height.
[1]) *Tiheys rinnankorkeudella (X_1) määritettiin interpoloimalla 1.3 metrin korkeuden molemmilta puolilta otettujen kahden lastun tiheyksistä.*

The coefficients of determination obtained from the equations are high for all the tree species, especially for spruce and white birch in which the wood density changes fairly little in the longitudinal direction of the stem. For comparison, mention may be made of the equations employed in the southern and western wood density surveys in the U.S.A. (U.S. Forest Service 1965 a and 1965 b) which give the average tree density on the basis of the density of an increment core taken at breast height and the breast height diameter. In the former case the best coefficient of determination, 0.59, pertains to *Pinus longifolia*, and the poorest, 0.44, to *Pinus Elliottii* (Mitchell 1965). The comparable figures in the western wood density survey were 0.70 for *Tsuga heterophylla* and 0.44 for *Larix occidentalis* (Wahlgren 1965). At least the following factors contributed to the higher accuracy achieved by the equations presented in this investigation.

Table 10. Density (kg/solid cu.m) at 25 per cent height and the average tree density.
Taulukko 10. Puuaineen tiheys (kg/k-m³) rungon 25 prosentin korkeudella ja keskimäärin koko rungossa.

Species — *Puulaji*	Average tree density *Rungon keskim. tiheys* $\overline{X} \pm S$	Density at 25 per cent height *Tiheys 25 prosentin korkeudella* $\overline{X} \pm S$	Difference *Erotus*	t-value *t-arvo*
Pine — *Mänty*	408.6 ± 32.8	408.5 ± 36.1	0.1	$t_{1568} = 0.02$
Spruce — *Kuusi*	386.8 ± 30.0	386.3 ± 32.5	0.5	$t_{1500} = 0.37$
Common birch — *Rauduskoivu*	496.9 ± 31.2	495.9 ± 33.5	1.0	$t_{496} = 0.36$
White birch — *Hieskoivu*	481.9 ± 29.2	481.9 ± 32.5	0.0	$t_{618} = 0.00$
Birches, combined — *Koivut, yhdistettyinä*	488.6 ± 31.0	488.1 ± 33.7	0.5	$t_{1116} = 0.24$

Present investigation	American wood density surveys
— Density at breast height determined by interpolation from densities measured from two increment cores.	— Density at breast height determined from one increment core only.
— The increment core was divided into three parts for the density determination.	— Increment core treated as a whole.
— Increment core volume measured by the mercury immersion method. Systematic error was corrected.	— Increment core volume measured on the basis of the core length and the diameter of the increment borer.

Ericson (1966 b) developed the corresponding equations for Scotch pine and Norway spruce in Sweden. The coefficient of determination was 0.59—0.93 in different cases and for spruce higher than for pine.

The accuracy increases with the number of cores taken from the tree (Taras and Wahlgren 1963, Krahmer and Snodgrass 1965). As it is the intention to take only one increment core at breast height in later studies, it is probable that the average tree density cannot be calculated as accurately as in Table 9. Taras and Wahlgren (1963) were able to reduce the standard deviation for the equation of *Pinus longifolia* from 21 kg/solid cu.m to 18 kg/solid cu.m when instead of one increment core two cores were taken at breast height and both were divided into three parts for the density measurement.

It was shown by Nylinder (1961 a) that the density of Scotch pine at 25 per cent height is approximately the same as the average tree density. This is valid for spruce, common birch and white birch as well (Table 10).

Table 11. Regression of the average tree density on the density at 25 per cent height.[1])
Taulukko 11. Rungon keskimääräisen tiheyden ja rungon 25 prosentin korkeudelta määritetyn tiheyden välinen riippuvuus.[1])

Species *Puulaji*	Regression equation *Regressioyhtälö*	R^2	Sy.x
Pine — *Mänty*	$Y = 63.4+0.845X_2$	.8619	12.2
	$= 81.1+0.813X_2-20.9X_9$	.8658	12.0
	$= 81.7+0.799X_2-15.0X_9+0.059X_4$	.8681	11.9
Spruce — *Kuusi*	$Y = 48.2+0.877X_2$	.9014	9.4
	$= 67.2+0.839X_2-22.4X_9$	.9052	9.2
	$= 67.8+0.842X_2-16.2X_9-0.217X_{10}$	.9061	9.2
Common birch — *Rauduskoivu*	$Y = 77.4+0.846X_2$	.8250	13.1
	$= 102.7+0.809X_2-352X_7$	.8306	12.9
	$= 153.1+0.809X_2-841X_7-10.3X_6$	.8314	12.9
White birch — *Hieskoivu* ..	$Y = 83.8+0.826X_6$	.8484	11.4
	$= 78.1+0.823X_2+0.535X_{10}$	.8529	11.2
	$= 84.7+0.811X_2+0.803X_{10}-18.7X_9$	.8553	11.2
Birches, combined — *Koivut yhdistettyinä*	$Y = 75.9+0.946X_2$	.8438	12.3
	$= 74.9+0.833X_2+0.482X_{10}$	.8484	12.1
	$= 82.1+0.819X_2+0.747X_{10}-17.2X_9$	.8506	12.0

[1]) Density at 25 per cent height (X_2) = the arithmetic mean of the densities of cores taken at 20 percent and 30 per cent heights.
[1]) *Tiheys 25 prosentin korkeudella (X_2) = 20 ja 30 prosentin korkeuksilta otettujen kairanlastujen tiheyksien aritmeettinen keskiarvo.*

It appears from Table 10 that average tree density can be determined from a sample taken at 25 per cent height with even greater accuracy than from a sample taken at breast height (cf. Table 8). Although the practical importance of such a sampling method is insignificant, some regression equations are presented here for the sake of comparison. In these equations, the 25 per cent height density is used. It was calculated as the arithmetic mean of the densities of cores taken at 20 per cent and 30 per cent heights, with the systematic error of the mercury immersion method eliminated from the mean as described in the chapter on the method. Table 11 shows that this procedure really gives a higher accurancy. The use of the method, however, is restricted to materials collected from felled trees.

The results of this study show that the average tree density can be established from an increment core taken at breast height. The equations of Table 9 were based on the assumption that the density of the increment core taken at breast height has been correctly measured. The serviceability of the equations is thus not necessarily tied with a sample of certain shape or size. They can be used whether the sample is an increment core taken at breast height or in disc form. Also, the increment core diameter does not

have to be the 5.5 mm used here. What is most important is that the systematic error of each method is eliminated before the equations are applied.

As the core to tree density relationship within a species does not vary significantly with geographic location (M i t c h e l l 1964), it seems that the problems set in the study can be solved by taking the increment core at breast height from a standing tree. The average tree density is obtained by using the relevant equation from Table 9.

2. DENSITY VARIATION BETWEEN THE STEMS

21. The external tree characteristics as density indicators

211. Regression of tree density on tree age

For pine, common birch and white birch, age was the most important of the variables tested for effect on the average tree density. The age range of the trees in the samples was 25—150 years for softwoods and 25—100 years for birches. The density of pine and white birche within these age ranges was illustrated best by a regression equation in which both age and the square of age were independent variables. For spruce, however, the square term proved insignificant, and it was possible to illustrate the correlation between average tree density and age by a straight line. The density of common birch was explained best by the reciprocal of age (Table 12).

Table 12. Coefficients of determination illustrating the correlation between tree density and age.

Taulukko 12. Rungon keskimääräisen tiheyden ja iän välistä riippuvuutta osoittavia kokonaiskorrelaatiokertoimia.

Species *Puulaji*	Independent variable — *Riippumaton muuttuja*				
	Age *Ikä*	Age² *Ikä²*	Age + age² *Ikä + ikä²*	Logarithm of age *Iän logaritmi*	1/age *1/ikä*
	Coefficient of determination — *Kokonaiskorrelaatiokerroin*				
Pine — *Mänty*	.2409	.1707	.3185	.2975	.3157
Spruce — *Kuusi*	.1506	.1443	.1506	.1411	.1161
Common birch — *Rauduskoivu*	.1984	.1677	.2218	.2243	.2388
White birch — *Hieskoivu*	.1208	.0990	.1383	.1320	.1284

Pine reaches its maximum density, according to the present material, only after it is more than 100 years old, white birch a little earlier. The density of spruce and common birch stems did not reach the maximum value in this material (Figure 9). However, these tree species obviously show the same development later on, for a decrease in wood density has

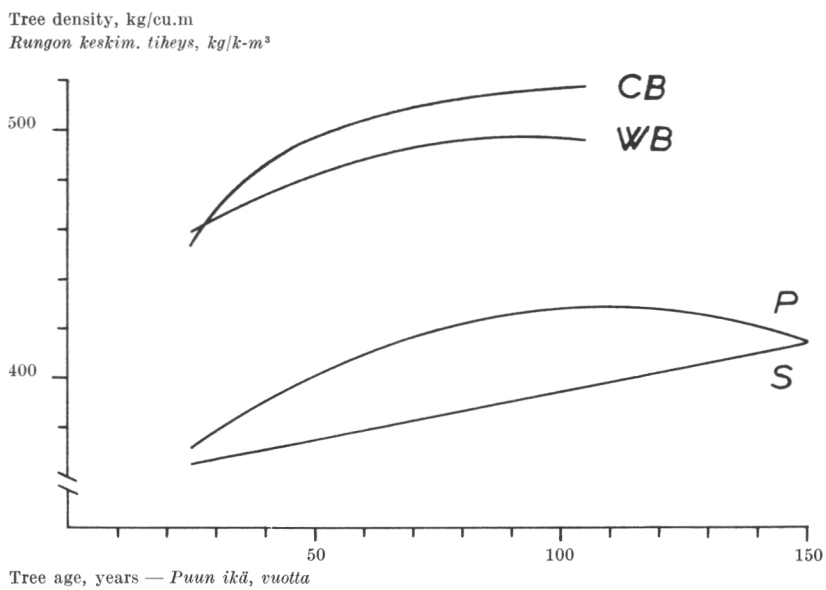


Figure 9. Correlation between tree density and tree age.
Kuva 9. Rungon keskimääräisen tiheyden riippuvuus puun iästä.

Table 13. Regression of tree density on age.
Taulukko 13. Ikä rungon keskimääräisen tiheyden selittäjänä.

Species *Puulaji*	The best regression equation *Paras regressioyhtälö*	R^2	Sy.x
Pine — *Mänty*	$Y = 333.8+1.759X_4—0.00806X_5$	.3185	27.1
Spruce — *Kuusi*	$Y = 356.5+0.390X_4$	.1506	27.6
Common birch — *Rauduskoivu* ...	$Y = 538.0—2\,036X_7$	.2388	27.3
White birch — *Hieskoivu*	$Y = 425.3+1.565X_4—0.00850X_5$	.1383	27.2

been reported for the narrow rings of over-mature specimens of practically all the major species studied (L a r s o n 1957). The low density of wood produced by an old tree results from the decreasing vigour of the tree.

The equations which illustrate best the regression between tree density and age are given in Table 13 for each tree species. The correlation is closest for pine, but it is significant for the other tree species as well. The correlation between tree density and age has been correspondingly greater for pine than for other tree species in foreign investigations, too. W h e e l e r and M i t c h e l l (1962) found that by far the most important single variable tested to predict core density was the reciprocal of age. The coefficient of determination was 0.17 for *Pinus longifolia* and 0.36 for *Pinus taeda*. In

the western wood density survey (U.S. Forest Service 1965 b), the significance of age was distinctly smaller for e.g. *Pseudotsuga* and *Abies*. In K l e m' s study (1965) only 2 per cent of the density variation of spruce could be attributed to age.

However, the part of the variation in tree density which in the present work was seen to be related to tree age is not caused in its entirety by age (cf. K n i g g e and S c h u l z 1966). Other factors, such as the growth rate, are also involved. The youngest trees in the material are from the best sites, as trees on poor forest site types do not in 25 years reach the minimum stem size used in this study. In spite of this, it is obvious that tree age is of such great significance for tree density that attention should be paid to the following points.

— An endeavour is made in Finland to shorten the rotation time of the growing stock. In consequence, the average density of the wood produced by the forests of southern Finland will decrease.
— The future tree plantations will produce usable timber at a fairly early age. The density of the timber to be harvested from plantation stands will be exceptionally low in the first thinnings owing to the young age of the growing stock. Such timber should be directed to the groundwood pulp, particle board or other industry for which low-density wood is most suitable.
— The growing stock of northern Finland is of considerably older age than that of southern Finland, but for a great part over-mature. This may be responsible for the differences in the pulp and paper industry's raw material consumption which have been found to exist in practice.
— Attention should always be paid to tree age in studies of wood density.

212. Regression of tree density on stem size and form

The correlation between tree density and stem size and form was studied with the aid of the following variables: diameter at breast height above the bark (X_8), stem length (X_{10}), and breast height diameter divided by the stem length (X_{11}). The last-mentioned variable was considered to illustrate the taper of the stem.

The results of regression analysis are shown in Table 14 which gives the coefficients of determination obtained from the equations. The values in brackets were obtained from equations which the F-test did not prove significant at the five per cent level.

Table 14. The interdependence between tree density and stem form and size. Coefficients of determination when the effect of age is not taken into consideration.
Taulukko 14. Rungon tiheyden sekä rungon koon ja muodon välinen riippuvuus. Kokonaiskorrelaatiokertoimet, kun iän vaikutusta ei oteta huomioon.

Species *Puulaji*	Variable — *Muuttuja*		
	X_8	X_{10}	X_{11}
	Coefficient of determination *Kokonaiskorrelaatiokerroin*		
Pine — *Mänty*	(.0000)	(.0043)	.0093
Spruce — *Kuusi*	.0886	.0734	.0278
Common birch — *Rauduskoivu*	.0446	.0523	.0237
White birch — *Hieskoivu*	.0073	.0132	(.0022)

The interdependence between average tree density and the variables tested is poor. The correlation is negative for spruce but positive for the other tree species.

It has already been shown that the average tree density increases with age. It might be expected from this that tree density also increases with stem size. This was the finding for southern yellow pines by Wheeler and Mitchell (1962). As different results have been arrived at in the present work, there must be some factor which affects the density of stems of different sizes in a way contrary to the influence of age.

This factor is the growth rate of the tree. Some small-sized trees are young and grow rapidly, while others are old and of slow growth. It is due to the contrary effect of age and the growth rate that stem size does not seem to have a significant effect on the density of the pine and white birch stem. The density of common birch increases slightly with size, for age has a stronger effect than growth rate on this species. The situation is reversed for spruce in which the density decreases with increasing stem size.

If age is taken into consideration as an additional factor in the regression, the influence of stem size and form on density in even-aged trees can be examined. Table 15 shows the coefficients of determination for equations in which the tree density is explained not only by variables illustrating size and form but also by the tree age or its reciprocal.

Table 15 differs considerably from Table 14. Stem size now has a significant influence on the density of softwoods when stem age is constant. For birches, however, the density does not seem to depend on stem size. When age remains constant the correlation between density and these variables is negative in softwoods, as shown by the examples below.

Species	Regression equation	R^2	Sy.x
Pine	$Y = 475.4 - 2\,469\,X_7 - 1.55\,X_8$	.3889	26.1
Spruce	$Y = 377.0 + 0.560\,X_4 - 2.34\,X_8$	.3622	24.0

Table 15. The interdependence between tree density and stem form and size. The coefficients of determination when the effect of age is taken into consideration. (1) For spruce the age has been used instead of the reciprocal of age).

Taulukko 15. Rungon tiheyden sekä rungon koon ja muodon välinen riippuvuus. Kokonaiskorrelaatiokertoimet, kun iän vaikutus otetaan huomioon. (1) Kuusella on iän käänteisluvun sijasta käytetty ikää).

Species *Puulaji*	Variable — *Muuttuja*			
	X_7	$X_7 + X_8$	$X_7 + X_{10}$	$X_7 + X_{11}$
	Coefficient of determination *Kokonaiskorrelaatiokerroin*			
Pine — *Mänty*	.3157	.3889	.3496	.3582
Spruce — *Kuusi* [1])	.1506	.3622	.3321	.1961
Common birch — *Rauduskoivu* ...	.2388	(.2394)	(.2388)	(.2398)
White birch — *Hieskoivu*	.1284	(.1340)	(.1290)	.1383

The results are fairly consistent with the following values introduced by Nylinder (1959) in Sweden.

Species	Age, years	Dbh, cm 10	20	30
		Tree density, kg/solid cu.m		
Pine	49	420	405	380
Spruce	45	397	352	338

The stem form also illustrates tree density (Table 15). The more sharply a stem of a certain age tapers, the smaller is the density of pine, spruce and white birch. Taper does not appear to have an effect on common birch. It has a particularly distinct influence on density in the Norway spruce, as has been previously reported by Klem (1934), Klem, Løschbrandt and Bade (1945) and Pechmann (1954). In a recent investigation the correlation between density and stem form was negligible, however (Klem 1965).

213. Regression of tree density on crown size

The relative length of the living crown of all sample trees was measured, but the crown width, density and vigour were not recorded. The picture of the crown was thus inadequate. It was considered, however, that the effect of the crown quality on tree density can be studied by means of the correlation between tree density and crown proportion.

The tree density was higher in softwoods the greater the proportion of the stem that was self-pruned. No significant correlation was obtained for hardwoods. However, as the proportion of living crown in the total stem length of pine and spruce decreases with the age of the tree, the correlation in question may be only ostensible. Hence, again, age must be a constant

in the regression. The equation receives the following form for pine and birches,

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_7 + \beta_2 X_{12}$$

and for spruce the age (X_4) is entered instead of the reciprocal of age (X_7). The estimate, b_2, of β_2 now shows the effect of crown proportion (X_{12}) on tree density (Y) when X_{12} is expressed in per cent.

Species	R^2	b_2	t-value of b_2
Pine	.3235	— 0.246	$t_{782} = 3.02^*$
Spruce	.1807	— 0.347	$t_{748} = 5.24^*$
Common birch	.2401	— 0.094	$t_{246} = 0.68$
White birch	.1329	— 0.164	$t_{307} = 1.27$

The effect of the crown proportion is still significant for softwoods, but insignificant for birches. However, the effect seems to be fairly small, for the density of pine decreases 2.5 and of spruce 3.5 kg/solid cu.m when the crown proportion increases by 10 per cent.

Obviously, the influence of the crown on the density of wood that forms in the stem is much more important than it has been possible to prove here. The vigour and earlier development of the crown was disregarded in the present study. On the other hand, it is to be expected that, given the same growth rate, a spruce with few needles which grows on a good site produces wood of similar density to that produced by a spruce with profuse needles growing on a poor site (S c h m i d t 1953).

»The crown of the tree is the regulating center for all wood formation. The external factors of climate and environment exert their influence directly on the growth of the crown and only indirectly on the development of wood» (L a r s o n 1963). It also seems reasonable to relate the amount of juvenile wood to the magnitude of the green crown (P a u l 1960).

Severe and continued reduction of the lower part of the crown of *Pinus longifolia* results in greatly reduced ring width in the lower part of the trunk, but summerwood is reduced less than springwood (M a r t s 1951). Green pruning an open-grown tree converts it to a simulated stand-grown tree, and the artificial crown recession restricts crown-formed wood to the new crown region (L a r s o n 1962).

22. The influence of environmental factors on tree density

221. The influence of stand structure on tree density

In order to study the correlation between stand density and wood density, the density of every stand was determined by using a scale where the density of an open space is denoted by 0 and the density of a fully closed stand by 1.

These figures denoting stand density were tested in regression analyses as variables influencing wood density. As tree age was another explaining variable, the value of stand density thus determined was insignificant in the analysis for all tree species.

The result cannot be regarded as surprising. The density in the stand at the time of investigation may often be entirely different from what it has been during the earlier development of the stand. Nor does the classification used take into account the site quality, and consequently it does not illustrate the biological density of the stand.

The size and vigour of the crown of an individual tree and the tree growth rate are dependent on the stand density. As these factors influence wood density, it follows that stand density must also affect wood density. However, the material in the present study was such that it cannot provide a direct answer.

The general trend in conifers is that trees growing at close spacings produce heavy wood and open-grown trees with large crowns produce wood of relatively low density (Wijkander 1897, Cieslar and Janka 1902, Paul 1930, Klem 1944, Hildebrandt 1954, Larson 1957, Ericson 1962 b). Braathe (1953) calculated that the wood density of Norway spruce on fairly dense plots was 5—6 per cent above that on more open plots. There is also a positive correlation between wood density and the stand basal area of southern yellow pines, but the correlation is not a strong one (Wheeler and Mitchell 1962). However, it has been shown that the wood density of Scotch pine (Jalava 1934 a) and Norway spruce (Sirén 1952) seed trees increases in the butt end of the stem immediately after thinning. A thorough study of the effect of thinning on the density and percentage summerwood in Scotch pine and Norway spruce was recently completed in Sweden by Ericson (1966 b).

The methods for producing dense wood in second-growth *Pseudotsuga taxifolia* forests are similar to those necessary for the natural elimination of side branches in closely stocked stands (Paul 1932). The regulation of growing space throughout the life of a stand is the silvicultural tool most readily available to the forester in controlling wood density (Paul 1963).

The effect of stand structure on wood density can be examined also by studying the differences between the tree classes. Four tree classes were distinguished in the present study in the manner described on p. 22, with the tallest trees of the stand ascribed to class 1. The correlation between wood density and tree age and tree class can now be written

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_7 + \beta_2 X_{13}$$

Table 16. Wood density of trees of different tree classes in a 50-year-old stand.
Taulukko 16. Eri latvuskerrosten puitten puuaineen tiheys 50-vuotiaassa metsikössä.

Species *Puulaji*	Tree class — *Latvuskerros*			
	1	2	3	4
	Density, kg/cu.m — *Tiheys, kg/k-m³*			
Pine — *Mänty*	397	403	408	414
Spruce — *Kuusi*	359	369	380	391
Common birch — *Rauduskoivu*	496	497	498	498
White birch — *Hieskoivu*	478	481	484	487

when X_7 is the reciprocal of age and X_{13} represents the tree class. Better results are again obtained for spruce when age (X_4) is entered instead of the reciprocal of age. When the estimate of β_2 is denoted by b_2, the following results are obtained.

Species	R^2	b_2	t-value of b_2
Pine	.3526	5.85	$t_{783} = 6.68^*$
Spruce	.2987	10.61	$t_{749} = 12.57^*$
Common birch	.2392	0.63	$t_{247} = 0.37$
White birch	.1431	3.29	$t_{308} = 2.30^*$

The wood density of trees in the lower tree classes is higher than that of dominant trees. The differences are especially distinct for spruce, but the effect of tree class is not significant for common birch. The coefficients of determination cannot be improved by adding the square of the tree class. Table 16 gives an example of the density of trees of different tree classes in a stand aged 50 years.

It has been proved that wood density increases from dominant to suppressed trees in pine (Burger 1948, Pillow 1954, Larson 1957) and Norway spruce (Cieslar and Janka 1902, Klem 1934, Volkert 1941, Burger 1952) stands. In several cases, however, the intermediate tree classes have been shown to have heavier wood than either the dominant or suppressed trees (Jalava 1946, Nylinder 1953 b, Hildebrandt 1954).

222. The influence of site quality on tree density

As the quality of the site affects the volume growth of trees, it may be assumed also to influence wood density. Wilde, Paul and Mikola (1951) reported that site conditions exert a marked influence on wood density. Most research workers are of the opinion that the wood density of softwoods is higher on poor than on good sites. This applies to both

Scotch pine (Lassila 1929, Siimes 1938, Jalava 1946, Tamminen 1962) and Norway spruce (Wijkander 1897, Klem 1934, Wegelius 1946, Klem 1965).Several studies have reported that the percentage summerwood and density of softwoods depend on the soil moisture supply during the growing season, especially towards the end of the summer (Paul and Marts 1931, Chalk 1951, Larson 1957, Kraus and Spurr 1961).

Investigation results concerning the correlation between the wood density of diffuse-porous hardwoods and site quality are contradictory. *Populus tremuloides* and *Populus grandidentata* have generally a higher wood density on the fertile than on the infertile sites, but this relationship does not hold true in all instances (Wilde and Paul 1951). Wood density of *Liriodendron tulipifera* is inversely related to site index (Barefoot 1963).

In studying the correlation between wood density and site quality in the present study, use was made of the forest site types which have such an important role in Finland. The mineral soil forest site types covered by the study are *Oxalis-Myrtillus* type (OMT), *Myrtillus* type (MT) and *Vaccinium* type (VT), the moistest and most fertile type given first. The fourth group consists of undrained swamps (see p. 20).

These four different sites have been fitted into the regression equations by assigning the forest site types the value 1 or 0 as shown on p. 29. The independent variables explaining tree density were the forest site type, tree age, the reciprocal of tree age and the interaction between age or its reciprocal and the forest site type. When only the forest site type was considered, the following correlations were obtained for the different tree species:

Species	R^2	F-value of the equation
Pine	.1313	$F_{4;\,780} = 29.45^*$
Spruce	.1104	$F_{4;\,746} = 23.14^*$
Common birch	.1039	$F_{4;\,244} = 7.08^*$
White birch	.0191	$F_{4;\,305} = 1.49$

However, the question is not only of the direct effect of site quality, for the tree age also exerts its influence. The age of the growing stock on poor forest site types, especially on undrained swamps, is higher on an average than on good forest site types. Age must therefore be taken into consideration in the regression equations. The wood density of the different tree species can then be predicted best from the following equations.

Pine and birches

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{16} + \beta_2 X_{17} + \beta_3 X_{18} + \beta_4 X_{19} + \beta_5 X_{20} + \beta_6 X_{21} + \beta_7 X_{22} + \beta_8 X_{23}$$

Table 17. Density of pine, spruce and birch wood on different forest site types.
Taulukko 17. Mänty-, kuusi- ja koivupuun tiheys eri metsätyypeillä.

Species *Puulaji*	Forest site type *Metsätyyppi*	Age, years — *Ikä, vuotta*				
		25	50	75	100	125
		Density, kg/cu.m — *Tiheys, kg/k-m³*				
Pine — *Mänty*	OMT	350	395	410	417	..
	MT	356	396	410	416	420
	VT	383	416	426	432	435
	Swamp — *Suo*	381	406	415	419	422
Spruce — *Kuusi*	OMT	356	364	372	380	..
	MT	368	376	384	392	400
	VT	376	383	391	399	407
	Swamp — *Suo*	379	387	395	403	410
Common birch — *Rauduskoivu*	OMT	459	497	510	516	..
	MT	463	497	508	513	..
	Swamp — *Suo*	453	480	489	493	..
White birch — *Hieskoivu*	OMT	456	488	499	504	..
	MT	458	483	492	496	..
	Swamp — *Suo*	453	481	490	495	..

Spruce

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{16} + \beta_2 X_{17} + \beta_3 X_{18} + \beta_4 X_{19} + \beta_5 X_4$$

It is possible on the basis of the equations to account for 37 per cent of the total tree density variation in pine, but only 15 per cent in white birch, as shown by the coefficients of determination obtained from the equations.

Species	R^2	Sy.x
Pine	.3671	26.2
Spruce	.2098	26.7
Common birch	.2778	27.0
White birch	.1505	27.2

The equations can be used to predict the average tree density when tree age and forest site type are known (Table 17). However, great accuracy cannot be achieved in predicting the density of an individual tree. Young stands on good forest site types yield considerably lighter-weight timber than the old stands on poor forest site types. For instance, the weight in solid cu.m in 100-year-old VT stands is 24 per cent higher for pine and 12 per cent higher for spruce than in 25-year-old OMT stands.

The table warrants the following conclusions:

— When the fertility of mineral soil improves, the wood density decreases. As far as undrained swamps are concerned, spruce produces the heaviest wood just in swamps, whereas the situation is the opposite for birch species. The density of pine wood on undrained swamps is higher than on MT sites, but lower than on VT sites.
— The density of pine wood is higher than that of spruce wood, as is commonly known. An exception, however, consists of young stands. The main reason for this is juvenile wood formation in pinewood.
— The wood density of common birch is higher than that of white birch except on undrained swamps where both species have the same wood density.

As low-density wood forms on a good site, it can be expected that improving the fertility of forest soil by fertilization will lead to a decrease in the density of the wood produced by the stand. Larson (1962) points out that the anticipated response to fertilization would be increased crown development. The increased crown activity, in turn, would be expected to promote spring wood formation.

It was not possible in the present work to study the effect of fertilization on wood density. The problem is, nevertheless, highly topical as Finland's forests will probably be fertilized on a large scale in the near future. For this reason, some investigation results which give indications of the type of change to be anticipated in the density of wood in consequence of fertilization are presented here.

Application of N, P_2O_5, K_2O, and lime caused a decrease of 8 per cent in the wood density of young *Pseudotsuga taxifolia* (Erickson and Lambert 1958). Application of N, P_2O_5, and K_2O significantly reduced the wood density of *Pinus taeda*, and the wood density averaged 10 per cent less than in trees in the control plots (Zobel, Goggans, Maki and Henson 1961). Williams and Hamilton (1961) applied fertilizer treatments of ammonium nitrate, superphosphate, and these two together for *Pinus Elliottii*. The addition of fertilizers had a definite effect on wood properties, and wood density was lowered on an average from 513 kg/cu.m to 479 kg/cu.m or 6.7 per cent. In Ericson's (1962 a) study nitrogen treatment caused a 4.9 and a 6.2 per cent decrease in wood density of Scotch pine.

Kerr (1931) pointed out that fertilizing has less influence on development of summerwood than on springwood of southern yellow pines. In the study by Klem (1964), the amount of summerwood in Norway spruce did not increase at all, but the quantity of springwood grew by 45 per cent as a result of fertilization. The result was a 7 per cent decrease in wood density. It was established by Pechmann and Wutz (1960)

that repeated applications of nitrogen appeared to increase the percentage springwood of Norway spruce. Wood density was reduced correspondingly, but the wood structure and density were similar to those of faster-grown spruce on good sites. Ericson (1962 a) stated that with fertilization, pine and spruce density generally decreases but the density of »hunger wood» which has grown on a very poor soil may even grow through the fertilization.

If forest fertilization becomes widespread in Finland, it can be assumed that the average density of the timber produced by the coniferous forests will decrease to some extent and the raw material consumption of the pulp industry will grow correspondingly per production unit. However, fertilization can be used to increase wood production without any fear that the change in the quality of the raw material of the pulp and paper industry will be greater than the present-day variation between fast-grown and slow-grown wood (Jensen, Virkola, Huikari and Paarlahti 1964).

The studies performed so far on the effect of fertilization on wood density have been concerned, however, with young stands. It may therefore be premature to advance hypotheses about the effects of fertilization of old forests on the quality of timber, especially saw logs. But on the basis of Table 17 alone, it seems possible that the lowering effect of fertilization on wood density is greatest in young stands and it will decrease when the age of the stand to be fertilized increases. Nor does it appear probable that fertilization would result in a reduction in wood density of birches.

23. Stem-to-stem density variation explained by external tree characteristics and environmental factors

Several studies indicate that the stem-to-stem density variation in a stand or locality is very high, but that much of this variation has not been explained by environmental factors (van Buijtenen, Zobel and Joranson 1961). The majority of recent writers agree that it is very difficult to relate wood density to environment (cf. Zobel and McElwee 1958).

The variation of tree density has been attempted to explain with the aid of different variables. It is easy to observe that two of them, tree age and growth rate, explain the variation in the tree density better than other factors. The explanatory value of stem size, site quality and other variables is largely based on the correlation between the variable in question and the tree age or growth rate.

The combined effect of environmental factors can be seen in the growth rate of the tree. A measure that illustrates growth rate, on the other hand, is the average ring width. In this study the quotient (X_9) obtained by dividing the diameter in centimetres at breast height above the bark by the age of the tree was used instead. This is not as accurate an indicator of growth rate as ring width, but it does make it possible to observe how the rate of growth influences the wood density. By taking as a second independent variable the reciprocal of age for pine and birches, and the age for spruce, the following regression equations are obtained.

Pine and birches ..... $Y = \beta_0 + \beta_1 X_7 + \beta_2 X_9$
Spruce ..... $Y = \beta_0 + \beta_1 X_4 + \beta_2 X_9$

These equations take into consideration the influence of both age and growth rate. The influence of the latter variable on wood density can be seen from the following, where the estimate of β_2 is denoted as b_2.

Species — *Puulaji*	R^2	b_2	t-value of b_2 *b_2:n t-arvo*
Pine — *Mänty*	.3936	— 91.7	$t_{782} = 10.03$*
Spruce — *Kuusi*	.3429	— 154.0	$t_{748} = 14.79$*
Common birch — *Rauduskoivu*	.2393	— 6.5	$t_{246} = 0.41$
White birch — *Hieskoivu*	.1341	— 25.0	$t_{307} = 1.43$

Again, it can be seen that the density of softwoods is significantly dependent upon the rate of growth. This negative correlation is especially pronounced for Norway spruce. For birches, on the other hand, the influence of growth rate is not important.

In many recent investigations it has been concluded that the relationship between growth rate and wood density is of little or no importance (Spurr and Hsiung 1954, Larson 1957, Rendle 1958 and 1959, Zobel and McElwee 1958, Goggans 1961 and 1962). It is obvious, however, that this depends to a great extent upon the tree species. Especially the density of Norway spruce seems to depend on the growth rate, but a similar correlation can also be observed in Scotch pine. This is the almost unanimous conclusion arrived at in investigations in Europe concerning these tree species.

Table 18 shows what percentage of the variance of tree density was explained by different variables. For pine and birches the most important independent variable is the age of the tree, in one way or another, but for spruce the growth rate is even more important than age.

Table 19 shows the percentage of the total variance of tree density explained by tree characteristics when the number of independent variables increases from one to six. It is not possible to improve the result for soft-

Table 18. Per cent of the total tree density variation explained by tree and stand characteristics. (Values insignificant at the five per cent level are given in brackets).
Taulukko 18. Puu- ja metsikkötunnusten avulla selitetyn vaihtelun osuus kokonaisvaihtelusta. (Arvot, jotka eivät ole merkitseviä 95 %:n luotettavuudella, ovat sulkumerkeissä).

Variable — *Muuttuja*	Symbol *Tunnus*	Pine *Mänty*	Spruce *Kuusi*	Common birch *Raudus-koivu*	White birch *Hies-koivu*
		Explained variance, per cent *Seliteity varianssi, %*			
Age — *Ikä*	X_4	24	15	20	12
Logarithm of age — *Iän logaritmi*	X_6	30	14	22	13
1/age — *1/ikä*	X_7	32	12	24	13
Dbh — $D_{1.3}$	X_8	(0)	9	4	(1)
Dbh/age — $D_{1.3}$/ikä	X_9	25	33	3	3
Tree length — *Puun pituus*	X_{10}	(0)	7	5	1
Dbh/length — $D_{1.3}$/*pituus*	X_{11}	1	3	2	(0)
Crown proportion — *Latvussuhde*	X_{12}	10	8	(0)	(0)
Tree class — *Latvuskerros*	X_{13}	2	12	(1)	(1)
Stand density — *Metsikön tiheys*	X_{15}	1	1	6	(0)
Forest site type — *Metsätyyppi*	X_{16}—X_{19}	13	11	10	2
Site type × 1/age — *Tyyppi × 1/ikä*	X_{20}—X_{23}	37	..	26	14
Site type × age — *Tyyppi × ikä*	X_{20}—X_{23}	..	20	..	..

woods by inclusion of the fourth tree characteristic, and for birches the second or third variable even is insignificant. If, however, the forest site type is included, the proportion of the explained variation can be increased for spruce and birches. The best equations then explain 41 per cent of the total density variation of Scotch pine, 40 per cent of Norway spruce, 28 per cent of common birch and 16 per cent of white birch. Klem (1965) similarly succeeded in explaining 43 per cent of the tree density variation of Norway spruce with an equation that had 12 independent variables. In the western wood density survey in the United States (U.S. Forest Service 1965 b) the percentage of the explained variation fluctuated from 6—31 in different tree species.

Compared with existing forests, fast-growing timber will be harvested in Finland in the future. The first thinnings will take place when the growing stock is still quite young. The rotation age of stands will also be shorter.

Conclusions from the wood density of the future forests can be drawn on the basis of the combined effect of environmental factors or growth rate of the trees. Attention has been paid previously to the possibility that the anticipated extensive forest fertilization may in the future forests result in a decrease in wood density. The same effect may be caused by the more general use of planting and seeding as methods of forest regeneration.

Klem (1944), Olson, Poletika and Hicock (1947), Giordano (1951), Hildebrandt (1954) and Sirén (1959) have proved that the forest-grown wood of Scotch pine and of Norway spruce

Table 19. Per cent of the total tree density variation explained by an increasing number of external tree characteristics as independent variables. (The thickened number refers to the last significant increase in the explained variance for each species).

Taulukko 19. Runkoa kuvaavien suureitten selittämän vaihtelun osuus rungon keskimääräisen tiheyden kokonaisvaihtelusta riippumattomien muuttujien lukumäärän kasvaessa. (Vahvennettu numero osoittaa viimeisen merkitsevän lisäyksen).

Independent variable — *Riippumaton muuttuja*								Explained variance, per cent
X_4	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	*Selitetty varianssi*, %
				Pine — *Mänty*				
—	—	X	—	—	—	—	—	32
—	—	X	—	X	—	—	—	39
—	—	X	—	X	—	X	—	**41**
—	—	X	—	X	—	X	X	41
—	—	X	—	X	X	X	X	41
—	—	X	X	X	X	X	X	41
				Spruce — *Kuusi*				
—	—	—	—	X	—	—	—	33
X	—	—	X	—	—	—	—	36
X	—	—	—	—	X	X	—	**37**
X	—	—	—	—	X	X	X	37
X	—	—	X	—	X	X	X	37
X	—	—	X	X	X	X	X	37
				Common birch — *Rauduskoivu*				
—	—	X	—	—	—	—	—	**24**
—	—	X	—	—	—	—	X	24
—	—	X	X	—	X	—	—	24
—	—	X	X	—	X	X	—	24
—	—	X	X	—	X	X	X	24
—	—	X	X	X	X	X	X	24
				White birch — *Hieskoivu*				
—	X	—	—	—	—	—	—	13
—	X	—	—	—	—	X	—	**14**
—	X	—	X	—	X	—	—	14
—	X	—	X	X	X	—	—	14
—	X	—	X	X	X	—	X	15
—	X	—	X	X	X	X	X	15

is higher in wood density than plantation-grown material. With more planting space, wood density decreases and the knot percentage increases. The production of one ton of spruce sulphite pulp required 4.7 solid cubic metres of wood from young plots with planting spaces of 1.25 × 1.25 metres, but 6.2 solid cubic metres from plots of the same age with planting spaces of 3.5 × 3.5 metres (K l e m 1944). When the stand gradually grew denser, the differences began to decrease (K l e m 1952).

24. Density as an inheritable property

The sample was collected from a geographically restricted area to exclude this factor liable to cause variation. In spite of this, the tree density varied widely. The standard deviation of the tree density was 8 per cent for softwood stems and 6 per cent for birches (Table 20).

Table 20. Standard deviation and range of tree density.
Taulukko 20. Rungon keskimääräisen tiheyden hajonta ja vaihteluväli.

Species — *Puulaji*	Density, kg/cu.m — *Tiheys, kg/k-m³*	
	$\bar{X} \pm S$	Range — *Vaihteluväli*
Pine — *Mänty*	409 ± 32.8	311—521
Spruce — *Kuusi*	387 ± 30.0	308—482
Common birch — *Rauduskoivu*	497 ± 31.2	407—571
White birch — *Hieskoivu*	482 ± 29.2	397—561

Attempts were made to explain the variation in tree density by using several tree and stand characteristics, but even in the most favourable cases the unexplained standard deviation for softwoods has been 6 per cent and for birches 5 per cent. To some extent this is due to measuring errors, the possible omission of some environmental factors and the fact that the tested linear equation patterns have not always been the best possible. In spite of this, it is apparent that the main reason for the unexplained variation is heritability, because wood density is the result of the interaction of environment and genotype.

Heritability is the relationship of the heritable portion of the variability of wood density to the total variability of wood density (Z o b e l 1961). »When the material is propagated by sexual means, the non-additive effects of the individual genotype cannot be passed on to their progenies, so the term heritability must be employed in the narrow sense. When vegetative propagation is used, the effects of dominance and epistasis of individuals are transferred unchanged. In this case the term heritability may be employed in its broad sense» (T o d a 1958).

When investigating the possibilities of forest tree breeding, the first point to clarify is the extent to which the desirable wood properties are transmitted from parent to progeny. For the present, there is not sufficient information available on the heritability of wood density in Scotch pine, Norway spruce, common birch and white birch, but some foreign investigations provide references and hints.

A close relationship exists between core wood density and the density of the total tree bole (Z o b e l, W e b b, and H e n s o n 1959, T h o r b j o r n s e n 1961). This speeds up the process of breeding, since it is possible to predict from quite young trees, at least roughly, the density of the wood that will form later. Data on one-year and five-year old wood from grafts of *Pinus taeda* showed significant differences in the wood density of the clones (van B u i j t e n e n 1962). In another investigation the inheritance of wood density was moderately strong for two-year old seedlings of the same species (C e c h, S t o n e c y p h e r and Z o b e l 1962). A positive correlation has also been found between the original tree and

the graft trees for Scotch pine and Norway spruce (Ericson 1960). Genetic variations and heritabilities, however, will probably change as the trees grow older. This is because the wood of the core is more sensitive to environmental influences than adult wood (Goggans 1962).

It has also been proved that there are differences in wood density due to heritability between the geographical races of Scotch pine (Echols 1958) and Norway spruce (Klem 1957, Dietrichson 1964). Still an unsolved problem, however, is the extent to which the variation in the wood density of these species can be attributed to heritability.

Almost one-third of the tree density variation in southern yellow pines may be due to genetic factors (Wheeler and Mitchell 1962). Fielding and Brown (1960) obtained broad-sense heritabilities up to 0.7 and narrow-sense heritability 0.2 for *Pinus radiata*. In another investigation broad-sense heritability of this same species was found to be 0.74 in the juvenile wood produced during the first eight years of the trees (Dadswell, Fielding, Nicholls and Brown 1961). As to the conifers in general, narrow sense heritabilities as high as 0.60—0.70 and broad-sense heritabilities of up to 0.85 have been reported, whereas the values for poplars are much lower (Zobel 1963).

One of the most important properties of wood, and one which should be taken into consideration in forest tree breeding, is wood density. This indeed is already being done in many countries. »A good part of the initial work of the U. S. Forest Products Laboratory in the field of wood density surveys, was concerned with screening for wood quality trees that had been selected and rated as plustrees on the basis of form, vigour, growth rate and the like. The purpose was to make certain that trees destined for further study and use in tree improvement programs were average or above, with respect to wood quality» (Mitchell 1958).

The problem of significant small-scale tests on wood in living trees has occupied an important place in the breeding programme of the U. S. Forest Service at the Southern Institute of Forest Genetics. When the average tree density, the diameter and the age are known, »the wood quality index» can be determined (Echols 1959). In England, cores are extracted at breast height from plustrees of *Picea sitchensis* to obtain evidence that the timber is satisfactory as to its wood density and other wood properties (Phillips 1963).

»The external appearance of a tree can be deceptive and occasionally borings from promising-looking trees have shown them to possess unsuitable timber qualities» (Holloway 1965). One is not free to select for only volume, or for density alone. There is a negative genetic correlation between growth rate and wood density. This means that one must evaluate the total wood production, including both volume and wood density, for effective

breeding procedure (van Buijtenen 1963). A strict selection for wood density alone would result in a decrease in the average diameter, while a selection for diameter alone would result in a decrease in wood density (Stonecypher, Cech and Zobel 1964).

Thus, it seems apparent that wood density is a factor worth major attention also in Finland when practising forest tree breeding. The first step would be to screen the plustrees and to remove from among them individual trees that are not up to a minimum standard. Care should also be taken in the new seed tree orchards now being established not to include tree individuals that give a sub-average wood density. By taking wood density into consideration in the forest tree breeding program one can to some extent avoid the threat of decreasing wood density inherent in future silvicultural methods.

3. DENSITY OF THE MOST IMPORTANT TIMBER ASSORTMENTS

31. Density of saw and veneer timber

It is possible to make use of certain stand characteristics when seeking to acquire logs, poles or piles with good strength properties. High-density logs are obtained from slow-grown and old stands. Over-aged stands must be avoided, however. The site quality permits certain conclusions about the wood density of logs (Table 21).

Table 21. Density of saw and veneer logs from different forest site types.
Taulukko 21. Eri metsätyypeiltä saatavien saha- ja vaneritukkien puuaineen tiheys.

Forest site type *Metsätyyppi*	Pine — *Mänty*	Spruce — *Kuusi*	Birch — *Koivu*
	Density, kg/cu.m — *Tiheys, kg/k-m³*		
	$\bar{X} \pm S$	$\bar{X} \pm S$	$\bar{X} \pm S$
OMT, MT	420 ± 30	370 ± 23	502 ± 30
VT	433 ± 37	382 ± 22	523 ± 34
Swamp — *Suo*	393 ± 18	385 ± 34	474 ± 23
Average — *Keskimäärin*	427 ± 36	373 ± 26	501 ± 32

Poor sites generally yield high-density logs, but the differences between various forest site types are small. The pine and birch logs of peat lands are an exception. The former often come from over-mature trees and may therefore be of exceptionally low density. For birch logs the main issue is the composition of the tree species. The proportion of white birch compared with common birch increases with the moisture of the site (cf. p. 21). The following figures show the difference in the wood density of common birch and white birch logs.

Species	Wood density of veneer logs, kg/cu.m $\bar{X} \pm S$
Common birch	510 ± 31
White birch	478 ± 27

One of the most important criteria for saw and veneer timber pricing is the top diameter of the log. The way in which the wood density varies with the log size is thus of interest. Table 22 shows the density of logs of different sizes. The table includes both butt and top logs.

Table 22. The effect of top diameter on the density of saw and veneer logs.
Taulukko 22. Latvaläpimitan vaikutus saha- ja vaneritukkien puuaineen tiheyteen.

Top diameter, inches *Latvaläpimitta, "*	Pine — *Mänty*	Spruce — *Kuusi*	Birch — *Koivu*
	Density, kg/cu.m — *Tiheys, kg/k-m³*		
	$\bar{X} \pm S$	$\bar{X} \pm S$	$\bar{X} \pm S$
5, 5½	413 ± 33	375 ± 22	..
6, 6½	424 ± 32	379 ± 28	472 ± 25
7, 7½	427 ± 33	372 ± 25	498 ± 33
8, 8½	424 ± 32	372 ± 23	502 ± 30
9, 9½	426 ± 29	367 ± 25	505 ± 31
10 +	457 ± 31	369 ± 23	515 ± 30

The density of birch logs increases distinctly with the log diameter. This is obviously true of pine as well, but for spruce the differences are fairly small. In birch logs, the proportion of common birch is highest in the thickest logs.

Especially in pine the part of the stem from which the logs derive affects the density of the logs. This can be seen from the following.

Position of the log	Pine	Spruce	Birch
	Density, kg/cu.m		
	$\bar{X} \pm S$	$\bar{X} \pm S$	$\bar{X} \pm S$
Butt logs	438 ± 34	376 ± 26	502 ± 33
Other logs	402 ± 22	368 ± 23	501 ± 22

The wood densities of logs of various grades were also compared for pine. Although grading is based solely on external log characteristics (cf. Heiskanen and Siimes 1960), it is also an excellent guide to the density of the logs. Wood density decreases as the grade falls, being 10 per cent higher in the first than in the third grade. The wood density of first grade pine saw logs obtained from a VT site is as high as 454 kg/solid cu.m.

Log grade	Density of pine saw logs, kg/cu.m $\bar{X} \pm S$
1	450 ± 34
2	433 ± 32
3	408 ± 28

Waste which originates when lumber is produced is converted into chips for the pulp industry. These chips are obtained chiefly from the outside portions of the logs, where the wood density is highest. The wood density of chips obtained from pine and spruce slabs was determined as described in Chapter II. The method is not entirely suitable theoretically, but the following estimates give an idea of the wood density of sawmill chips from slabs.

Species	Density of sawmill chips from slabs, kg/cu.m
Pine	441
Spruce	379

The wood density of sawmill chips obtained from pine slabs is higher than given by any other timber assortment in Finland utilized as raw material for pine sulphate pulp. In addition, »the chips coming for the most part from slabs or the outside of the logs contain fibers appreciably longer than the average of those in a whole log» (G r e e n 1963).

On the other hand, the point that the wood density of pine chips from slabs is 15 per cent higher than that of spruce chips must also be borne in mind. This notwithstanding, they are both sometimes used in a mixture for the manufacture of sulphate pulp without regard for the effect of this difference on the pricing of the raw material or the production process.

32. Density of cordwood

The wood density of normal pine pulpwood is 7 per cent higher than the wood density of pulpwood made from tops. In addition, timber from tops is known to contain a greater proportion of knot wood. According to N y l i n d e r (1959), the percentage of knot wood is greatest at 80—90 per cent stem heights. Knot wood interferes in many ways with the preparation of chemical and groundwood pulp (cf. W e g e l i u s 1939). Moreover, when the smaller solid content of a stack of timber from tops is taken into consideration, it is obvious that top timber is distinctly poorer than normal pulpwood as raw material for pine pulp. The differences in the wood density of spruce and birch pulpwood are similar but smaller.

The minimum top diameter of pulpwood was in this investigation 8 cm under the bark. This was the practice when the study was started. Since then the minimum top diameter of pine and spruce pulpwood has been lowered to 7 cm, however.

In addition pulpwood of 5—8 cm diameter, so-called small-diameter pulpwood, was made of pine and spruce. Two types can also be distinguished in this small-diameter pulpwood: pulpwood made from small-sized trees or

Table 23. Density of pulpwood obtained from different forest site types.
Taulukko 23. Eri metsätyypeiltä saatavien paperipuitten puuaineen tiheys.

Forest site type *Metsätyyppi*	Pine — *Mänty*	Spruce — *Kuusi*	Birch — *Koivu*
	Density, kg/cu.m — *Tiheys, kg/k-m³*		
	Normal pulpwood [1]) — *Tavalliset paperipuut* [1])		
OMT, MT	403	378	495
VT	427	394	520
Swamp — *Suo*	414	393	483
Average — *Keskimäärin*	417	382	495
	Pulpwood from tops — *Latvapaperipuut*		
OMT, MT	386	377	489
VT	388	381	499
Swamp — *Suo*	360	382	451
Average — *Keskimäärin*	386	378	486
	Small-diameter pulpwood [2]) — *Ohutpaperipuut* [2])		
OMT, MT	382	389	..
VT	426	403	..
Swamp — *Suo*	440	426	..
Average — *Keskimäärin*	410	394	..
	Small-diameter pulpwood from tops — *Latvaohut-paperipuut*		
OMT, MT	376	370	..
VT	380	389	..
Swamp — *Suo*	380	387	..
Average — *Keskimäärin*	378	374	..

[1]) Does not include pulpwood made from the tops of saw log trees. *Ei sisällä tukkirunkojen latvoista tehtyä paperipuuta.*

[2]) Does not include small-diameter pulpwood made from the tops of saw log and pulpwood trees. — *Ei sisällä tukki- ja paperipuurunkojen latvoista tehtyä ohutpaperipuuta.*

from the tops of taller trees. In pine, both are of lower density than the corresponding normal-sized pulpwood, the difference being 2 per cent. The same applies to spruce as regards top timber, but the difference is only 1 per cent. The density of pulpwood made from small-sized spruces, on the other hand, is 4 per cent higher than that of normal spruce pulpwood, because this kind of timber primarily consists of slow-grown undergrowth spruces.

However, in practice the above-mentioned types of small-diameter pulpwood are not kept separate. The relative proportion of both timber assortments varies with the stand from which the timber is harvested. It is even common that pine and spruce are not kept separate. In addition, it appears to be characteristic that the wood density of small-diameter pulpwood varies sharply between stands.

For these reasons, no endeavour was made to give a figure of general acceptability concerning the density of small-diameter pulpwood. But it is possible from the data presented to calculate the wood density in different

cases when the proportion of pine and spruce, on the one hand, and that of small-sized stems and tops on the other hand are known.

It is possible to some degree to draw conclusions about the density of pulpwood obtained from a stand on the basis of the external stand characteristics. Table 23 shows the effect of the forest site type on the density of pulpwood.

Poor sites yield dense pulpwood. Of especially high density is small-diameter pulpwood obtained from the small-sized stems of undrained swamps. Exceptionally low-density pulpwood, again, is obtained from the first thinnings of young, fast-growing forests.

Birch wood of poor quality is still utilized as fuelwood on a large scale in Finland. The average wood density of birch fuelwood is 492 kg/solid cu.m, according to the present study. However, if both birch pulpwood and birch fuelwood are prepared concurrently, the latter comes chiefly from the tops of the trees. The wood density of such fuelwood is 480 kg/solid cu.m.

It is possible that at least a part of the top now left in the forest as logging residues will in the future be used for the production of pulp. Because of this, the density of this kind of wood was also determined. The figures below show that the wood density of the tops left behind in the forest as logging residues is low for pine and birch but high for spruce compared with the means for the tree species in question. A point worthy of consideration is that the density of spruce logging residues is higher than that of pine logging residues.

Species	Density of logging residues from tops, kg/cu.m
Pine	368
Spruce	381
Birch	470

In Table 24 are assembled the average densities of different timber assortments. It is proposed that these figures be used in southern Finland until the effect of geographical variation can be assessed. It should be emphasized, furthermore, that the figures denote the density of clear, defect-free wood.

The dry weight of timber is also affected by defects in wood. The most important is knottiness, for knot wood has an above-average density. The density of knot wood may in Norway spruce be three times that of normal stem wood (W e g e l i u s 1939). B o u t e l j e (1966) reported that the density of knot wood of Scotch pine is on the average 2 times and that of Norway spruce 2.5 times as high as the density of clear stem wood. The presence of reaction wood in timber has the same effect, whereas decay

Table 24. Density of different timber assortments.
Taulukko 24. Eri puutavaralajien puuaineen tiheys.

Timber assortment *Puutavaralaji*	Pine — *Mänty*	Spruce — *Kuusi*	Birch — *Koivu*
	Density, kg/cu.m — *Tiheys, kg/k-m³*		
Saw and veneer logs — *Saha- ja vaneritukit*	427	373	501
Normal pulpwood [1]) — *Tavalliset paperipuut* [1]) ..	417	382	495
Pulpwood from tops — *Latvapaperipuut*	386	378	486
Small-diameter pulpwood [2]) — *Tavalliset ohut-paperipuut* [2])	410	394	..
Small-diameter pulpwood from tops — *Latva-ohutpaperipuut*	378	374	..
Normal fuelwood — *Tavalliset halot*	..	..	492
Fuelwood from tops — *Latvahalot*	..	..	480
Saw mill chips from slabs — *Hake sahauspinnoista*	441	379	..
Logging residues from tops — *Latvojen hukkapuu*	368	381	470

[1]) and [2]): see Table 23.
[1]) *ja* [2]*): katso taulukko 23.*

has a contrary effect. The combined effect of defects is such that the true dry weight of timber is probably slightly higher than the density of clear wood indicates. Hardy and Weiland (1964) noted that knots increased the dry weight of pulpwood made of spruce species of Maine by 1.73 per cent.

The density of normal pulpwood in southern Finland is 417 kg/solid cu.m for pine, 385 for spruce and 495 for birch according to the present study. Jalava (1959) calculated the true dry weight of pulpwood to be 430, 390 and 500 kg/solid cu.m, respectively. As the latter numerical series includes the effect of knots, it can be concluded that the figures reported earlier by Jalava for pulpwood and those obtained here by another method are in accordance. By way of comparison, mention may be made of the study made by Braathe and Okstad (1964) in Norway in which the average wood density of birch pulpwood is about 502 kg/solid cu.m.

IV. The reliability of the results

The statistical procedure used in the investigation is based primarily on regression analysis. The sample data are then supposed to meet certain requirements. First of all, it is assumed that the values of the independent variables are measured with essentially no error.

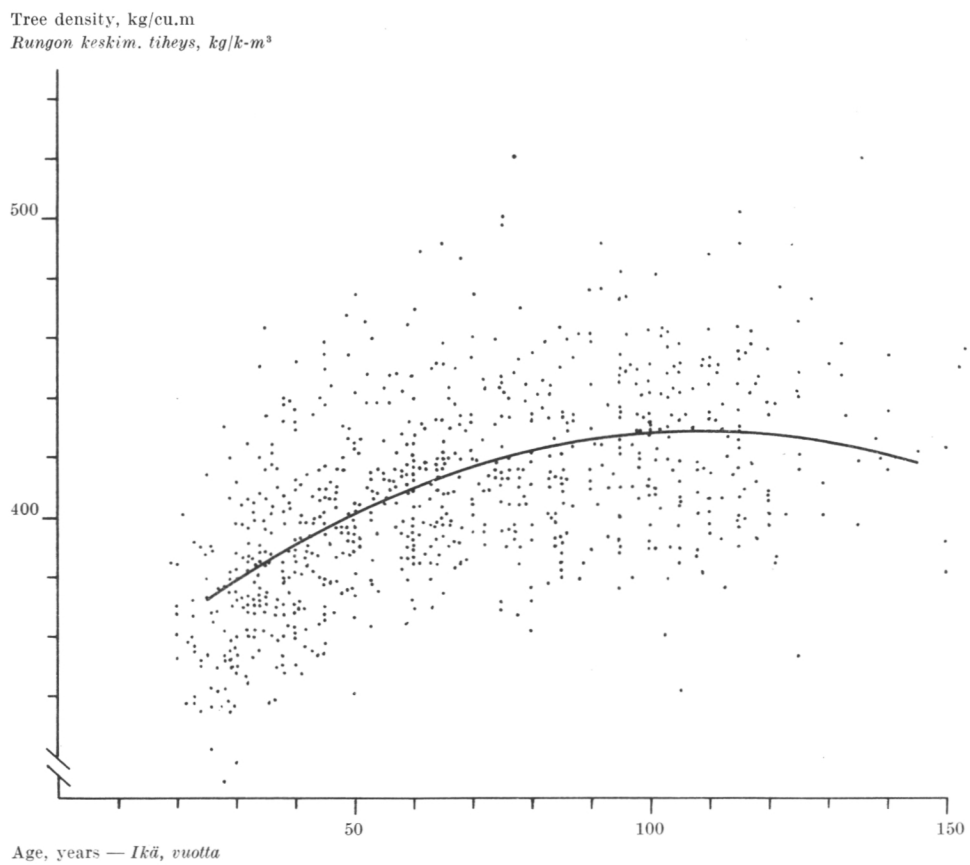


Figure 10. Tree density of pine against age.
Kuva 10. Mäntyrungon iän mukainen keskimääräinen tiheys.

The measurements were done as carefully as possible. The magnitude of the error involved in the wood density measurements and the correction of the error were established in Chapter II.

Second, the sample must be drawn from a population for which the variance is homogeneous. This means that the variance of the wood density values about the regression surface must be the same at all points of a certain combination of the independent variables. Graphic presentation can be used to show that the sample meets this requirement. Figure 10 serves as a pattern of that.

The third requirement is that the deviation of the wood density values from the regression surface must not be dependent on each other. The independence of errors can usually be assumed if the Y values are randomly selected, as is the case in this investigation. Purposive selection of X values on the other hand is usually permissible.

Fitting a simple or multiple linear regression does not necessarily assume the normality of the distribution of the wood density values. But because t- and F-tests were used in the tests of significance, the Y values should be normally distributed. The distributions of the average tree density values of pine, spruce, common birch and white birch are shown in Figures 11—14.

Two main types of departure from the normal may occur. In one the distribution of the data is asymmetrical or skewed, the mean and median being different. The other, kurtosis, occurs in symmetrical sets, characterized

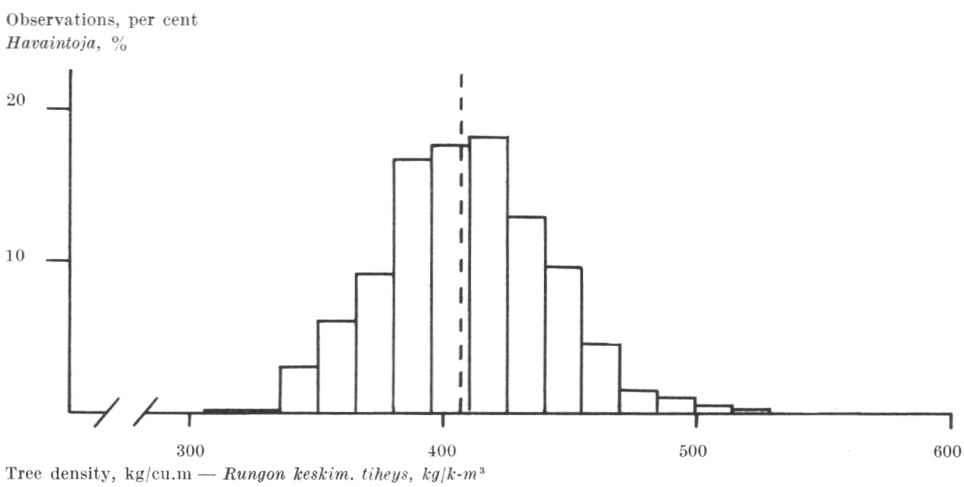


Figure 11. Distribution of tree density of pine.
Kuva 11. Mäntyrungon keskimääräisen tiheyden jakautuma.

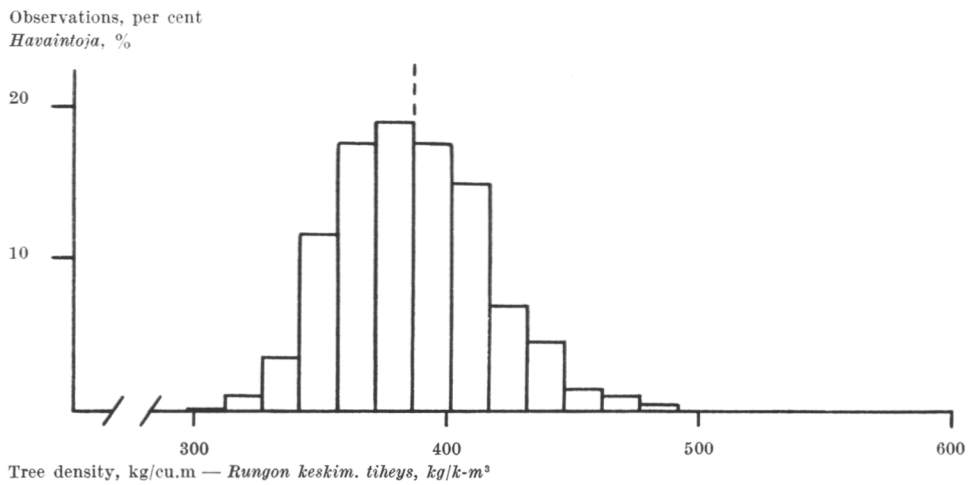


Figure 12. Distribution of tree density of spruce.
Kuva 12. Kuusirungon keskimääräisen tiheyden jakautuma.

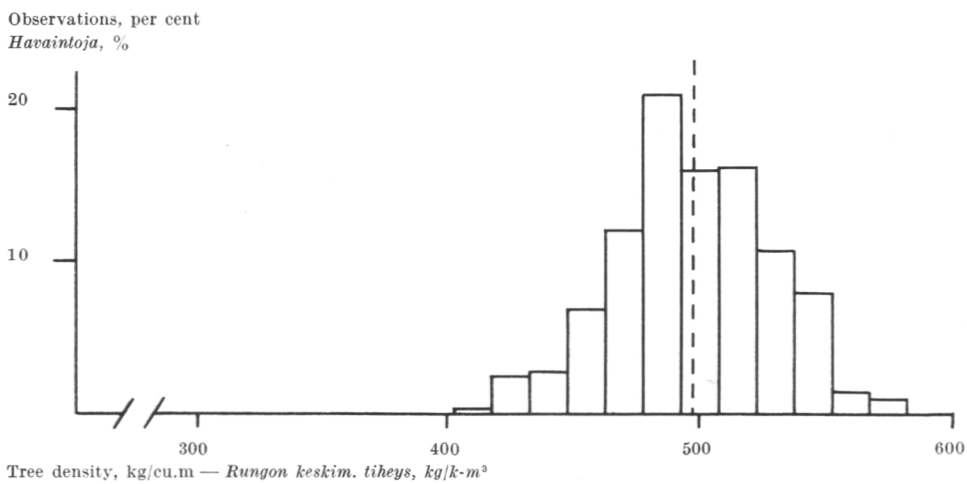


Figure 13. Distribution of tree density of common birch.
Kuva 13. Rauduskoivurungon keskimääräisen tiheyden jakautuma.

by either an excess or a deficit of observations concentrated near the center of the range. When g_1 is the measure of skewness and g_2 the measure of kurtosis (S n e d e c o r 1957), the following test results are obtained.

Species	t-value of g_1	t-value of g_2
Pine	+ 2.49*	+ 1.60
Spruce	+ 4.61*	+ 0.40
Common birch	— 0.79	+ 0.56
White birch	— 1.45	+ 0.32

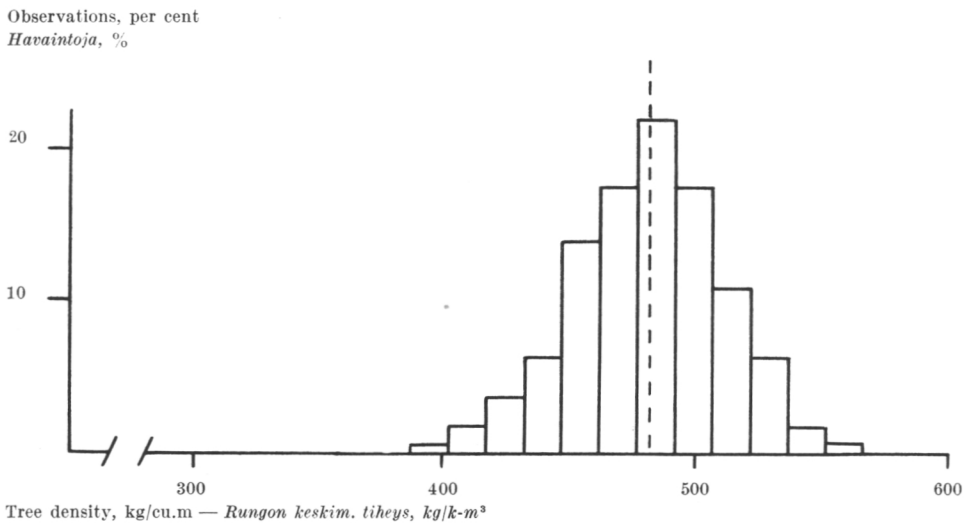


Figure 14. Distribution of tree density of white birch.
Kuva 14. Hieskoivurungon keskimääräisen tiheyden jakautuma.

If g_2 is zero, there is no departure from normality so far as this measure is concerned. In this investigation the values of g_2 seem to be positive for pine, spruce, and birches. »A positive value of g_2 indicates an excess of items near the mean and far from it with a corresponding depletion of the flanks of the distribution. This is the manner in which the distribution of t departs from normal» (S n e d e c o r 1957). The values of g_2 are insignificant for every species, however.

If g_1 is zero, the distribution of the sample is symmetric. A positive value of g_1 indicates an excess in the number of observations smaller than the mean, whereas a negative value indicates an opposite situation. For birches, which have a relatively high wood density, the value of g_1 is negative but insignificant. For pine and spruce, which are lower in wood density, g_1 is positive and significantly different from zero (cf. K o l l m a n n 1951).

As to the birches, no significant departure from normality can be demonstrated. The excess of low tree density values of pine and spruce, on the other hand, indicates that the population from which they have been drawn is asymmetric.

As pine and spruce material is not perfectly normal, the results of the t-test and the F-test must be treated with a certain reserve. The tests were performed at the 5 per cent level of significance. If the difference was then significant, this was denoted by an asterisk after the test value.

It is advisable for the practical applications of the results to know what the sample represents and how it does so. As already mentioned, the study was

confined to a limited geographical area. Collection of material was possible in this region only in State forests for the most part, although some private forests were also available for the purpose. These forests must be regarded as better than the average for the area.

The forest areas made available for the study also included many stands in which it was not possible for one reason or another to fell sample trees. Another limiting factor was that artifically regenerated forests and drained swamps were omitted from the material. An endeavour was then made to collect a random sample from the remaining stands of the study area, but in the final phase of the field work the material was supplemented nevertheless in some extreme cases such as OMT pines and VT birches.

For wood density, i.e. the Y values of the regression equations, the material was selected at random as presupposed in regression analysis. On the other hand, purposive selection was applied to certain stand characteristics employed as X values. Although selection of X values is permissible in regression analysis, it influences certain applications of the results, such as calculation of the average wood density of timber assortments.

The values reported for the wood density of timber assortments are means weighted by bolt volume. These means were further adjusted separately for each tree species with the aid of the areas and the yield values of different forest site types in order to provide better conformity with average conditions in southern Finland. The values thus corrected can be considered to represent the average wood density in present-day conditions of timber assortments harvested from the study area. These figures may change if silvicultural treatments are intensified.

The pilot survey of the study material revealed that the geographical variation did not seem to affect wood density within the sample. Hence latitude, longitude and altitude were ignored in selecting independent variables of the regression equations.

The geographical variation of wood density is, however, a matter of importance. Mayr put forward the optimum theory according to which each tree species forms the highest density wood within the optimum of its range (Gayer and Fabricius 1921). Jalava (1946) holds this optimum range for Scotch pine to be central Finland, and for Norway spruce south of Finland. According to Trendelenburg (1939) the optimum range of Scotch pine reaches from southern Finland to Germany, as to the wood density. The differences in the pulp yield per unit volume of timber between the pine sulphate pulp mills of southern and northern Finland, and the differences in pulp properties, also indicate differences in wood density of the raw material (cf. Kalla 1966). In a recent study the difference in wood density of pine and spruce pulpwood between southern

and northern Finland was not significant, however (U i t t o t e h o — — — 1966).

The values reported for the density of timber assortments are most reliable in their application to the study area. It is suggested however, that these figures be used for the whole of southern Finland until the geographical variation in wood density has been clarified in later studies.

V. Practical viewpoints

It is necessary in the forest industries and in the management of forests to pay increasing attention not only to the volume but also to the quality of wood. As wood quality is a concept bound with the purpose of use of the wood, it is not possible to speak in general terms of good wood or poor wood. In lieu of quality, wood quality indicators which enable indirect determination of the suitability of wood for various purposes must be used. One of the most important wood quality indicators is wood density.

High-density wood is advantageous for many uses, but in some cases low-density wood gives a better end product. For the wood user to obtain the most suitable timber for his purposes and to be able to price if fairly, it is important to know where to obtain timber of certain wood density. This information is also needed in industrial planning, sorting of raw material, and quality control of the end product. On the other hand, the forest grower should know which factors affect the density of the wood produced by the forest in order to be able to influence the situation when he so desires.

It is obvious that wood density is greatly dependent on the inheritable properties of tree. The significance of heritability lies in the possibility that forest tree breeding may influence the wood density of the future forests. It has appeared from some studies that hereditarily fast-growing trees tend to produce wood that is lighter than the average. Hence, if wood density is disregarded, when choosing plustrees, the density of the wood produced by the future forests may be lower than it is at present. In selecting plus-trees, their growth rate should be determined as dry matter yield, rather than as volume yield.

Another factor affecting wood density is the age of the tree. The wood density of Scotch pine, Norway spruce and birches increases with tree age. Since the rotation time of Finnish forests is to be reduced, the average wood density will decrease at least in southern Finland. Exceptionally low-density timber is obtained from young stands in connection with the first thinnings.

The third important factor affecting wood density is the growth rate of the tree. Density decreases in both Scotch pine and Norway spruce with acceleration of the growth rate, whereas the role of this factor appears to be insignificant in birches. It is to be expected that the wood of the fast-

growing plantation forests of the future will be of especially low density. The fertilization of forests has a similar influence. It must be noted, however, that when the age of the stand increases the effect of the growth rate on wood density decreases.

It may be assumed that wood density varies with both race and climatic factors in different parts of Finland. This is suggested by the differences known to exist in the raw material consumption and the properties of the end product of the pulp industries in southern and northern Finland. To establish these differences, a study of the variation in wood density in different parts of Finland must be undertaken, for instance with the method evolved in the present work.

It has also been shown in the present study that there are considerable differences in wood density between timber assortments. It is thus possible for industry in some cases to take consideration wood density in its pricing procedure without incurring special costs. It is also possible in some degree to screen raw material, for instance by keeping the low-density pine pulpwood from the tops of saw timber trees separate in the timber yard. Most of this pulpwood is gathered into separate stacks in the harvesting stage already (cf. M u r t o 1949).

Let us take as an example a mill producing kraft paper from pine. Its pulp yield per solid cubic metre of wood is directly proportional to the density of pulpwood. The quality of the product, too, improves with the increase in wood density. Hence, it is possible to place the various timber assortments utilized by the mill in an order of avdantage on the basis of the dry matter content per solid cubic metre of wood. If the value 100 is assigned to the density of normal pine pulpwood, the following values will be obtained for other assortments. For the sake of comparison, the corresponding values for spruce are also presented.

Timber assortment	Pine	Spruce
	Ratio	
Saw mill chips from slabs	106	91
Saw logs (butt, middle and top logs)	102	89
Normal pulpwood	100	91
Small-diameter pulpwood	98	95
Top saw logs	96	88
Pulpwood from tops	93	90
Small-diameter pulpwood from tops	91	90
Logging residues from tops	88	91

A list of this type naturally does not give a final picture of the real value ratios within a tree species. It is necessary to consider also the variation of knottiness, heartwood content and other factors in the different timber

assortments. Wood density, however, constitutes the basis of the calculations.

Wood density varies in many cases more than the solid cubic content of a stack. In practice, however, it is the latter that is considered and wood density that is disregarded.

VI. Summary

Knowledge of wood density may be of great significance in determining the quality of timber used for a certain purpose. The continuous enquiries addressed to the Forest Research Institute, especially by industry, have shown that data on wood density are needed for many purposes in practice. Therefore, in spring 1962, the Forest Technology Department of the Forest Research Institute started a study to ascertain the influence of different factors on the variation of wood density in Scotch pine *(Pinus silvestris L.)*, Norway spruce *(Picea abies (L.)* Karst.), common birch *(Betula verrucosa* Ehrh.) and white birch *(Betula pubescens* Ehrh.).

The object was to find out the wood density variation within the stem and between stems, and the wood density of the most important timber assortments. The investigation was confined to a limited geographical area in southern Finland. In addition, a method was to be evolved for a wood density inventory using standing trees.

The sample consisted of 2 095 felled trees from which a total of 20 220 increment cores were taken. The wood density of the cores was determined by the mercury immersion method (E r i c s o n 1959) as basic density. The unit of measurement employed for density was kilogramme per solid cubic metre. The statistical procedure was based chiefly on regression analysis.

Some of the most important results of the study are reported in the following.

The density of pine increases from pith to cambium especially sharply in the region of juvenile wood. The same tendency continues outside the juvenile wood zone. The density of the wood that forms depends above all on the percentage summerwood (Figure 4) and the tree age at the respective stem height (Figure 5). Ring width (Figure 6) is of significance, too, even outside the juvenile wood zone.

The density of spruce wood decreases within the first annual rings towards the cambium, but begins to increase again in a few years. The percentage summerwood and the ring width appear to be the most important factors.

The density of birches also increases from pith to cambium. The importance of the age of the annual ring is also great, but the ring width does not influence wood density of birches.

Density increases in the longitudinal direction of the stem from butt to top especially sharply in Scotch pine (Figures 7 and 8). The change is similar in common birch and white birch, though smaller in the latter. The density of Norway spruce decreases from the butt to the middle of the stem, but then begins to increase again towards the top. Density variations in the longitudinal direction of the stem are decisive for the density of the different timber assortments obtained from the stem.

The density variation between stems has been explained with the help of various independent variables and their combinations (p. 29). The best multiple linear regression equations explain 41 per cent of the tree density for Scotch pine, 40 per cent for Norway spruce, 28 per cent for common birch and 16 per cent for white birch (p. 62). Regarding the individual independent variables, the tree density variation in the pine and the birches is explained best by the reciprocal of age (Tables 12 and 13), in the spruce by the quotient of breast height diameter and age, which illustrates the rate of growth (p. 61). The site quality, i.e. the forest site type, also affects wood density (Table 17). It has been concluded on the basis of the magnitude of the unexplained density variation that hereditary factors have a great influence on wood density and its variation.

It can be assumed on the basis of the results that the density of the softwood timber produced by the future forests of Finland will decrease a little under the influence of the intensification of silviculture. To offset this, forest tree improvement activity should take into account, in addition to volume growth, also wood density and other wood properties.

By way of application of the investigation results, the density values of different timber assortments have been calculated. The differences between the timber assortments are considerable, especially in Scotch pine. The weight of a solid cubic metre of pine wood is highest in saw mill chips from slabs, then in saw logs, normal pulpwood, small-diameter pulpwood, pulpwood from tops, small-diameter pulpwood from tops and lowest in logging residues from tops. The differences between the timber assortments are smaller in spruce and birch wood. Comparison of corresponding assortments shows that spruce is of lower density than pine except for the logging residues from tops.

It has been noted in many connections that an inventory should be made, as soon as possible, of the wood density variation in different parts of Finland. This can be done from increment cores collected from standing trees on the basis of the method evolved in the present study (Table 9). Samples taken at breast height can be used to predict the average tree density with sufficient accuracy so that the method can be applied also to determining the wood density of plustrees.

Literature cited

Aldridge, F. and Hudson, R. H. 1955. Growing quality softwoods. Quarterly Journal of Forestry 49: 109—114.

—»— 1958. Growing quality softwoods: Variation in strength and density of *Picea abies* — Specimens taken from a commercial consignment. Quarterly Journal of Forestry 52: 107—114.

Anonymous. 1957. How should we grow conifers? Forestry conference at Darlington Hall. Quarterly Journal of Forestry 51: 322—331.

Banks, C. H. 1955. The mechanical properties of the mature wood of *Pinus longifolia*, Roxb. grown in the Union of South Africa. The Journal of the South African Forestry Association 26: 18—31.

Banks, C. H. and Schwegmann, L. M. 1957. The physical properties of fast- and slow-grown *Pinus patula* and *P. taeda* from South African sources. The Journal of the South African Forestry Association 30: 44—59.

Barefoot, A. C. 1963. Selected wood characteristics of young yellow-poplar *(Liriodendron tulipifera L.)*. Part I. Specific gravity and toughness. Forest Products Journal 13: 233—239.

Barefoot, A. C., Hitchings, R. G. and Ellwood, E. L. 1964. Wood characteristics and kraft paper properties of four selected loblolly pines. I. Effect of fiber morphology under identical cooking conditions. Tappi 47: 343—356.

Bernhart, Albrecht. 1964. Über die Rohdichte von Fichtenholz. On the specific gravity of the wood of Norway spruce *(Picea abies (L.)* Karst.). Holz als Roh- und Werkstoff 22: 215—228.

Bersenev, A. P. and Fokina, A. G. 1958. Opyt ispol'zovanija radioaktivnyh izotopov dlja issledovanija drevesiny. An experiment on the use of radioactive isotopes for investigations on wood. Derev. Prom. 7(8). (Cited from Forestry Abstracts 20: 2282. 1959).

Bertog, H. 1895. Untersuchungen über den Wuchs und das Holz der Weisstanne und Fichte. Forstlich-naturwissenschaftliche Zeitschrift 4: 97—112, 177—216.

Besley, Lowell. 1962. Quality control could start in the woods. Tappi 45: 20 A — 32 A.

Boutelje, Julius B. 1966. On the anatomical structure, moisture content, density, shrinkage, and resin content of the wood in and around knots in Swedish pine *(Pinus silvestris L.)*, and in Swedish spruce *(Picea abies* Karst.). Svensk Papperstidning 69: 1—10.

Braathe, Peder. 1953. Undersøkelser over utviklingen av glissen gjenvekst av gran. Investigations concerning the development of Norway spruce regeneration which is irregularly spaced and of varying density. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 12: 209—301.

Braathe, Peder and Okstad, Torbjörn. 1964. Omsetning av trevirke basert på veiing og tørrstoffbestemmelser. Trade of pulpwood based on weighing and dry-matter samples. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 20: 1—64.

Brown, H. P., Panshin, A. J. and Forsaith, C. C. 1949. Textbook of wood technology. Volume I. New York.

Bryan, J. and Pearson, F. G. O. 1955. The quality of Sitka spruce grown in Great Britain. Empire Forestry Review 34: 144—159.

van Buijtenen, J. P. 1962. Heritability estimates of wood density in loblolly pines. Tappi 45: 602—605.

—»— 1963. Heritability of wood properties and their relation to growth rate in *Pinus taeda*. World consultation on forest genetics and tree improvement. FAO/FORGEN 63—7/2. Stockholm.

—»— 1964. Anatomical factors influencing wood specific gravity of slash pines and the implications for the development of a high-quality pulpwood. Tappi 47: 401—404.

van Buijtenen, J. P., Zobel, B. J. and Joranson, P. N. 1961. Variation of some wood and pulp properties in an evenaged loblolly pine stand. Tappi 44: 141—144.

Burger, H. 1948. Holz, Blattmenge und Zuwachs. IX. Mitteilung. Die Föhre. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen 25: 435—493.

—»— 1952. Holz, Blattmenge und Zuwachs. XII. Mitteilung. Fichten im Plenterwald. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen 28: 109—156.

Cech, F. C., Stonecypher, Roy and Zobel, Bruce. 1962. Early results from the co-operative loblolly pine heritability study. Proceedings of a forest genetics workshop, pp. 64—68. Macon, Georgia.

Chalk, L. 1951. Water and the growth of wood of Douglas-fir. Quarterly Journal of Forestry 45: 237—242.

Cieslar, A. and Janka, G. 1902. Studien über die Qualität rasch erwachsenen Fichtenholzes. Centralblatt für das gesammte Forstwesen 28: 337—403.

Cockrell, Robert A. 1944. Shrinkage and density of ponderosa pine wood. Journal of Forestry 42: 288—290.

Cooper, G. A. 1960. Specific gravity of red pine as related to stem and crown-formed wood. Iowa State Coll. J. Sci. 34: 693—707. (Cited from Tappi Monograph Series — No. 24. 1962).

Curran, C. E. 1938. Relation of growth characteristics of southern pine to its use in pulping. Journal of Forestry 36: 576—581.

Dadswell, H. E., Fielding, J. M., Nicholls, J. W. P. and Brown, A. G. 1961. Tree-to-tree variations and the gross heritability of wood characteristics of *Pinus radiata*. Tappi 44: 174—179.

Dadswell, H. E. and Wardrop, A. B. 1959. Growing trees with wood properties desirable for paper manufacture. Reprint, Journal of Australian Pulp and Paper Industry Technical Association.

Dadswell, H. E., Watson, A. J. and Nichols, J. W. P. 1959. What are the wood properties required by the paper industry in the trees of the future? Tappi 42: 521—526.

Dietrichson, Jon. 1964. Proveniensproblemet belyst ved studier av vekstrytme og klima. The provenance problem illustrated by studies of growth-rhythm and climate. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 19: 499—656.

Echols, Robert M. 1958. Variation in tracheid length and wood density in geographic races of Scotch pine. Yale University, School of Forestry, Bulletin No. 64.

—»— M. 1959. Estimation of pulp yield and quality of living trees from paired-core samples. Tappi 42: 875—877.

Edlin, H. L. 1965. The summerwood: springwood ratio in conifers. The Journal of the Society of Foresters of Great Britain 38: 91—112.

Erickson, Harvey D. and Lambert, Gregory M. 1958. Effect of fertilization and thinning on chemical composition, growth, and specific gravity of young Douglas-fir, Forest Science 4: 307—315.

Ericson, Börje. 1959. A mercury immersion method for determining the wood density of increment core sections. Statens Skogsforskningsinstitut. Avdelningen för skogsproduktion. Rapporter nr 1.

—»— 1960. Studies of the genetical wood density variation in Scots pine and Norway spruce. Studier över den ärftliga volymviktsvariationen hos tall och gran. Statens Skogsforskningsinstitut. Avdelningen för skogsproduktion. Rapporter nr 4.

—»— 1962 a. Möjligheterna att öka skogsväxten genom markförbättrande åtgärder. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift nr 2: 195—202.

—»— 1962 b. Gallringens inverkan på vedens höstvedhalt och torr-råvolymvikt. En orienterande undersökning av tre gallringsförsök med gran i södra Sverige. Skogshögskolan. Institutionen för skogsproduktion.

—»— 1966 a. Determination of basic density in small wood samples. An examination of some sources of error. Skogshögskolan. Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser nr 9.

—»— 1966 b. Gallringens inverkan på vedens torr-råvolymvikt, höstvedhalt och kärnvedhalt hos tall och gran. Effect of thinning on the basic density and content of latewood and heartwood in Scots pine and Norway spruce. Skogshögskolan. Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser nr 10.

Fielding, J. M. and Brown, A. G. 1960. Variation in the density of the wood of Monterey pine from tree to tree. Commonwealth of Australia, Forestry and Timber Bureau. Leaflet No. 77: 1—28.

Finnish Meteorological Office. 1964. Ilmatieteellinen keskuslaitos. Kuukausikatsaus Suomen sääoloihin. 58: 5—9, 13.

Finnish Pulp and Paper Research Institute. 1949 a. Undersökningar beträffande cellulosavedens kvalitet, utförda under åren 1945—48. Granved och sulfitcellulosa. Centrallaboratorium AB. Kokförsöksavdelningens undersökningsrapport nr 37.

—»— 1949 b. Sulfatcellulosavedens kvalitet. Centrallaboratorium AB. Kokförsöksavdelningens undersökningsrapport nr 38.

Forest Biology Subcommittee. 1963. Existing methods of value for small sample measurement of wood and fiber properties. Tappi 46: 150 A—156 A.

Forest Products Laboratory. 1960. Longitudinal shrinkage of wood. Forest Products Laboratory Report No. 1093.

Gayer, Karl and Fabricius, Ludwig. 1921. Die Forstbenutzung. Berlin.

Giordano, G. 1951. Studio comparativo sul legno del larice, dell'abete rosso e del pino silvestre proveniente dalle foreste alpine e dai rimboschimenti dell'Appen-

nino. Comparative study of the wood of larch, Norway spruce and Scots pine from alpine forests and from plantations in the Apennines. Italia Forestale a Montana. (Cited from Forestry Abstracts 12: 3305. 1952).

Goggans, James F. 1961. The interplay of environment and heredity as factors controlling wood properties in conifers with special emphasis on their effects on specific gravity. North Carolina State College. School of Forestry. Technical Report No. 11.

—»— 1962. The correlation, variation and inheritance of wood properties in loblolly pine *(Pinus taeda L.)*. North Carolina State College. School of Forestry. Technical Report No. 14.

Green, Harold V. and Worrall, John. 1964. Wood quality studies I. A scanning microphotometer for automatically measuring recording certain wood characteristics. Tappi 47: 419—427.

Green, Robert P. 1963. The control of pulp quality in a bleached kraft pulp mill. Tappi 46: 14 A—26 A.

Guenther, William C. 1964. Analysis of variance. Englewood Cliffs, N. J.

Hale, J. D. 1962. Minimum requirements for defining species norms for quality of variable woods. Tappi 45: 538—542.

Hale, J. D. and Fensom, K. G. 1931. The rate of growth and density of the wood of white spruce. Canada Department of the Interior. Forest Service. Circular 30.

Hardy, Steven S. and Weiland, George W. III. 1964. Weight as a basis for the purchase of pulpwood in Maine. University of Maine. Maine Agricultural Experiment Station. Bulletin 14.

Hartig, Robert. 1884. Der Einfluss des Baumalters und der Jahrringbreite auf die Beschaffenheit des Holzes. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung 60: 128—137.

Hedin, Tore, Malm, Erik and Wennerblom, Axel. 1963. Comparison of springwood and summerwood enriched dissolving pulps. Tappi 46: 548—550.

Heikinheimo, Olli. Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueita 1, Vesijako. Helsinki. Undated.

—»— Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueita 3, Punkaharju. Helsinki. Undated.

—»— Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueita 5, Vilppula. Helsinki. Undated.

Heiskanen, Veijo. 1954. Vuosiluston paksuuden ja sahatukin laadun välisestä riippuvuudesta. On the interdependence of annual ring width and sawlog quality. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 44.5.

—»— 1957. Raudus- ja hieskoivun laatu eri kasvupaikoilla. Quality of the common birch and the white birch on different sites. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 48.6.

Heiskanen, Veijo and Jokihaara, Lauri. 1960. Puupolttoaineiden lämpöarvoista. Pienpuualan Toimikunnan tiedotus N:o 33.

Heiskanen, Veijo and Siimes, F. E. 1960. Ehdotus mänty- ja kuusisahatukkien laatuluokitukseksi. Suomen Puutalous 42: 385—389.

Helander, A. Benj. 1918. Metsänkäyttöoppi. Porvoo.

Hess, John M. 1965. A relationship of wood density surveys to plywood strength values. Proceedings of the symposium on density — — — a key to wood quality: 162—168. Madison, Wisconsin.

Hiett, Louis A., Beers, Walter L. Jr. and Zachariasen, Karsten A. 1960. Relationships between wood density and other wood and pulp properties. Tappi 43: 169—173.

Hildebrandt, G. 1954. Untersuchungen an Fichtenbeständen über Zuwachs und Ertrag reiner Holzsubstanz. Berlin.

Hiley, W. E. 1955. Quality in softwoods. Quarterly Journal of Forestry 49: 159—164.

Holloway, Trevor. 1965. Carbon 14 used to study wood density. World Wood 6: 30.

Ilvessalo, Lauri. 1928. Puuluokitus ja harvennusasteikko. A tree-classification and thinning system. Acta Forestalia Fennica 34.38.

Ilvessalo, Yrjö. 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. Helsinki.

—»— 1956. Suomen metsät vuosista 1921—24 vuosiin 1951—53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. The forests of Finland from 1921—24 to 1951—53. A survey based on three national forest inventories. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 47.1.

—»— 1963. IV valtakunnan metsien inventointi. 2. Maan eteläpuoliskon metsänhoitolautakuntien alueryhmät. Fourth national forest inventory. 2. Southern forestry board districts. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 57.4.

Jalava, Matti. 1933. Suomalaisen männyn lujuusominaisuuksista. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 18.7.

—»— 1934 a. Havaintoja puun aseman vaikutuksesta puun ominaisuuksiin. Investigation into the influence of the position of a tree in the stand upon the properties of the wood. Acta Forestalia Fennica 40.9.

—»— 1934 b. Suomalaisen männyn lujuusominaisuuksista. II. Strength properties of Finnish pine *(Pinus silvestris)*. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 19.6.

—»— 1946. Suomalaisen männyn, kuusen, koivun ja haavan lujuusominaisuuksista. Strength properties of Finnish pine, spruce, birch and aspen. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 33.3.

—»— 1952. Puun rakenne ja ominaisuudet. Helsinki.

—»— 1959. Puu teollisuuden raaka-aineena. Puun mekaanisteknillisiä ominaisuuksia. Tapion Taskukirja, pp. 392—397. Helsinki.

Jayne, Ben A. 1958. Effect of site and spacing on the specific gravity of wood of plantation-grown red pine. Tappi 41: 162—166.

Jensen, W., Virkola, N-E., Huikari, O. and Paarlahti, K. 1964. Lannoitetussa metsässä kasvanut puu massan valmistuksen raaka-aineena. Suomen Puutalous 46: 408—421.

Kalla, Juhani. 1966. Mäntypinotavaran kulutus valkaisemattoman sulfaattiselluloosan valmistuksessa Pohjois- ja Etelä-Suomessa. Manuscript.

Kelsey, J. E. and Steele, R. L. 1956. Shrinkage and density of plantation grown *Pinus radiata*. Australia, Commonwealth Sci. Ind. Research Organization, Div. Forest Prods., Project T. P. 22, Progr. Rept. No. 2 (Cited from Tappi Monograph Series-No. 24. 1962).

Kerr, J. 1931. Summerwood formation in southern pines dependent on capacity of soil to retain moisture. Forest Worker 4: 17.

Kinnman, Gunno. 1923. Kvalitetsfordringar på pappersved och skogsvårdsåtgärdernas avpassande därefter. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift 21: 201—225.

Klem, Gustav G. 1934. Undersøkelser av granvirkets kvalitet. Untersuchungen über die Qualität des Fichtenholzes. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 5: 197—348.

—»— 1944. Planteavstandens innflytelse på granvedens og sulfitcellulosens kvalitet. Effect of planting space on the quality of spruce wood and sulphite pulp. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 8: 257—293.

—»— 1949. Specific gravity of spruce wood, its variation in wood structure and pulp degree of delignification (Sieber chlorine no.), and the effect of these factors on yield and sulphite pulp quality. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 10: 369—396.

—»— 1952. Planteavstandens virkning på granvirkets kvalitet. The influence of spacing on spruce quality. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 11: 473—506.

—»— 1957. Kvalitetsundersøkelser av norsk och tysk gran. The quality of Norway spruce *(Picea abies)* of Norwegian and German origin. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 14: 285—314.

Klem, Gustav G., Løschbrandt, Frithjof and Bade, Otto. 1945. Undersøkelser av granvirke i forbindelse med slipe- og sulfitkokeforsøk. Investigations of spruce wood in connection with mechanical wood pulp and sulphite pulp experiments. Meddelelser fra Det norske Skogfosøksvesen. Bind 19: 1—127.

Klem, Gustav S. 1964. Effekten av gjødsling på 3 kvalitetsegenskaper hos vanlig gran *(Picea abies)*. Norsk Skogbruk nr 18: 491—494.

—»— 1965. Tørrvolumvektsvariasjoner hos fremmende bartreslag og vanlig gran fra Sør- og Vestlandet. Variations in the specific gravity of foreign softwood species and Norway spruce from South and West Norway. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 20: 137—169.

Knigge, Wolfgang and Schulz, Horst. 1966. Grundriss der Forstbenutzung. Hamburg and Berlin.

Kollmann, Franz 1951. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Berlin, Göttingen and Heidelberg.

Krahmer, Robert L. and Snodgrass, James D. 1965. Development of a sampling procedure for estimating averages of selected physical properties in a forest stand. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis, Oregon.

Kraus, John F. and Spurr, Stephen H. 1961. Relationship of soil moisture to the springwood—summerwood transition in southern Michigan red pine. Journal of Forestry 59: 510—511.

Kujala, Viljo. 1946. Koivututkimuksia. Some recent research data on birches. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 34.1.

Larson, Philip R. 1957. Effect of environment on the percentage of summerwood and specific gravity of slash pine. Yale University, School of Forestry, Bulletin No. 63.

—»— 1962. A biological approach to wood quality. Tappi 45: 443—448.

—»— 1963. Stem form development of forest trees. Forest Science-Monograph 5.

Lassila, I. 1929. Metsätyypin vaikutuksesta puun painoon. On influence of forest type on weight of wood. Acta Forestalia Fennica 36: 1.

Liiri, Osmo. 1964. Lastulevyn puuraaka-aine. Tutkimuksia suomalaisen puun raaka-aineen eräiden ominaisuuksien merkityksestä valmistettaessa 3-kerroksista laakapuristettua lastulevyä. Wood raw material of particle board.

Investigations on the significance of some properties of Finnish wood raw material in the manufacture of 3-layer flatpressed particle board. State Institute for Technical Research. Publication 80.

Lundberg, Gustav. 1928. Torrvolymvikten hos tall- och granved. Das Trockenvolumgewicht bei Kiefern- und Fichtenholz. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift 27: 564—588.

Markwardt, L. J. and Paul, Benson H. 1946. Methods of determining the specific gravity of wood and wood-base materials. Proc. Amer. Soc. Test. Mat. 46: 1520—1539 (Cited from Spurr and Hsiung 1954).

Markwardt, L. J. and Wilson, T. R. C. 1935. Strength and related properties of woods grown in the United States. U. S. Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 479.

Marts, Ralph O. 1951. Influence of crown reduction on springwood and summerwood distribution in longleaf pine. Journal of Forestry 49: 183—189.

Mitchell, Harold L. 1958. Wood quality evaluation from increment cores. Tappi 41: 150—156.

—»— 1961. A concept of intrinsic wood quality, and non-destructive methods for determining quality in standing timber. Forest Products Laboratory Report No. 2233.

—»— 1964. Patterns of variation in specific gravity of southern pines and other coniferous species. Tappi 47: 276—283.

—»— 1965. Highlights of results of the southern wood density survey. Proceedings of the symposium on density — — — a key to wood quality: 38—64. Madison, Wisconsin.

Mitchell, H. L. and Wheeler, P. R. 1959. Wood quality of Mississippi's pine resourches. Forest Products Laboratory Report No. 2143.

Moltesen, P. 1957. Tyndingens indflydelse på vedkvaliten. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift 55: 1—16.

Mork, Elias, 1928. Die Qualität des Fichtenholzes unter besonderer Rücksichtsnahme auf Schleif- und Papierholz. Papier Fabrikant 26: 741—747.

Murto, Jaakko O. 1949. Piirteitä sulfaattiselluloosan laadun kehittämismahdollisuuksista. Suomen Paperi- ja Puutavaralehti 31: 307—308.

Müller-Stoll, W. R. 1949. Photometrische Holzstrukturuntersuchungen, II. Mitteilung: Über die Beziehungen der Lichtdurchlässigkeit von Holzschnitten zu Rohwichte und Wichtekontrast. Forstwissenschaftliches Centralblatt 68: 21—63.

Nylinder, Per. 1953 a. Über die Verteilung von Rohwichte und Holzfeuchtigkeit in Kiefern- und Fichtenstämmen und ihre Bedeutung für die Flösserei in Schweden. Holz als Roh- und Werkstoff 11: 354—361.

—»— 1953 b. Volymviktsvariationer hos planterad gran. Variations in density of planted spruce. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut. Band 43: 3.

—»— 1959. Synpunkter på produktionens kvalitet. Kungl. Skogshögskolan — institutionen för virkeslära. Nr U 2.

—»— 1961 a. Om träd- och vedegenskapers inverkan på råvolymvikt och flytbarhet. I. Tall. Influence of tree features and wood properties on basic density and buoyancy. I. Scots pine *(Pinus silvestris)*. Kungl. Skogshögskolan — institutionen för virkeslära. Uppsatser nr R 35.

—»— 1961 b. Om träd- och vedegenskapers inverkan på råvolymvikt och flytbarhet. II. Gran. Influence of tree features and wood properties on basic density and buoyancy. II. Norway spruce *(Picea abies)*. Kungl. Skogshögskolan — institutionen för virkeslära. Uppsatser nr R 36.

Nylinder, Per and Hägglund, Erik. 1954. Ståndorts- och trädegenskapers inverkan på utbyte och kvalitet vid framställning av sulfitmassa av gran. The influence of stand and tree properties on yield and quality of sulphite pulp of Swedish spruce *(Picea excelsa)*. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut. Band 44: 11.

Nyyssönen, Aarne. 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. Acta Forestalia Fennica 60.4.

Olson, A. R., Poletika, N. V. and Hicock, H. W. 1947. Strength properties of plantation-grown coniferous woods. Conn. Univ. Storrs Agr. Expt. Sta., Bull. No. 511. (Cited from Tappi Monograph Series-No. 24. 1962).

Orman, H. R. 1952. Physical properties of *Pinus patula* from Whakarewarewa Kaingaroa State Forests. New Zealand Forest Products Research Notes 1: 1—24.

Orth, T. M. 1965. Use of wood density data by the southern pine plywood industry. Proceedings of the symposium on density — — — a key to wood quality: 124—128. Madison, Wisconsin.

Paul, Benson H. 1930. The application of silviculture in controlling the specific gravity of wood. U. S. Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 168.

—»— 1932. Improving the quality of second-growth Douglas fir. Journal of Forestry 30: 682—686.

—»— 1960. The juvenile core in conifers. Tappi 43: 1—2.

—»— 1963. The application of silviculture in controlling the specific gravity of wood. U. S. Department of Agriculture. Forest Service, Technical Bulletin No. 1288.

Paul, Benson H. and Marts, Ralph O. 1931. Controlling the proportion of summerwood in longleaf pine. Journal of Forestry 29: 784—796.

Pechmann, H. 1954. Untersuchungen über Gebirgsfichtenholz. Forstwissenschaftliches Centralblatt 73: 65—91.

Pechmann, H. and Wutz, A. 1960. Haben Mineraldüngung und Lupinenanbau einen Einfluss auf die Eigenschaften von Fichten- und Kiefernholz? Forstwissenschaftliches Centralblatt 79: 91—105.

Phillips, E. W. J. 1960. The beta ray method of determining the density of wood and the proportion of summerwood. Journal of the Institute of Wood Science. No. 5: 16—28.

—»— 1963. Timber improvement by tree selection and breeding. World consultation on forest genetics and tree improvement. FAO/FORGEN 63—7/5. Stockholm.

Pillow, M. Y. 1954. Specific gravity relative to characteristics of annual rings in loblolly pine. Forest Products Laboratory Report No. 1989.

Rendle, B. J. 1958. Some recent work on factors affecting the quality of softwoods. Quarterly Journal of Forestry 52: 308—311.

—»— 1959. Fast-grown coniferous timber — some anatomical considerations. Quarterly Journal of Forestry 53: 116—122.

—»— 1960. Juvenile and adult wood. Journal of the Institute of Wood Science. No. 5: 58—61.

Risi, J. and Zeller, E. 1960. Specific gravity of the wood of black spruce *(Picea mariana*, Mill. B.S.P.) grown on a *Hylocomium-Cornus* site type. Laval University Forestry Research Foundation Contribution 6, Quebec, Canada.

Runkel, R. 1942. Zellwandforschung unter dem Blickpunkt des technischen Einsatzes. Zugleich IV. Mitteilung »Zur kenntnis der Zellwände tropischer Laubhölzer». Holz als Roh- und Werkstoff 5: 413—427.

Sandermann, W., Schweers, W. and Hoheisel, H. 1963. Über Dichteuntersuchungen an Holz und Holzwerkstoffen mit β-strahlen. Paperi ja Puu 45: 681—688.

Schafer, E. R. 1949. The influence of volume of summerwood and rate of growth on the specific gravity of southern pine pulpwood. Southern Pulp and Paper Manufacturer 12: 166—168.

—»— 1961. Effect of condition and kind of wood on groundwood pulp quality. Forest Products Laboratory Report No. 2220.

Schmidt, H. 1953. Kronen- und Zuwachsuntersuchungen an Fichten des Bayerischen Alpenvorlandes. Forstwissenschaftliches Centralblatt 72: 276—286.

Short course in grading based upon standard grading rules for southern pine lumber. 1963. Southern Pine Inspection Bureau, New Orleans.

Siimes, F. E. 1938. Suomalaisen mäntypuun rakenteellisista ja fysikalisista ominaisuuksista. Erikoisesti kutistumis- ja laajenemisilmiöstä puun vesipitoisuuden vaihdellessa. Helsinki.

—»— 1952. Strength grading rules for Finnish structural sawn timber. Helsinki.

—»— 1965. Economic advantages of stress-grading. Reports presented at the symposium on the economic aspects of, and productivity in, the sawmilling industry. Supplement 2 to volume 18 of the Timber Bulletin for Europe. Volume 3, Geneva.

Siimes, F. E. and Liiri, Osmo. 1952. Puun lujuustutkimuksia I. Pienet virheettömät mäntykoekappaleet. Investigations of the strength properties of wood I. Tests on small clear specimens of Finnish pine *(Pinus silvestris)*. Valtion teknillinen tutkimuslaitos. Tiedoitus 103.

Sirén, Gustaf. 1952. Hakkuun vaikutuksesta kuusipuun rakenteeseen korpimailla. On the effect of releasing cutting upon wood structure of spruce on peat-moors. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 40.32.

—»— 1959. Eräitä havaintoja keskisuomalaisen ja paikallisen mäntyrodun biologisista ja teknillisistä ominaisuuksista Perä-Pohjolassa. Some observations on the biological and technical properties of the local and Central-Finnish pine provenances in North Finland. Silva Fennica 96.1.

Škripeň, J. and Riasová, T. 1958. Stavba dreva a objemová váha borovice obyčajnej *(Pinus silvestris)* in Slovakia. The wood structure and density of *Pinus sylvestris* in Slovakia. Drevarsky Výskum 3: 27—48 (Cited from Forestry Abstracts 20: 2353. 1959).

Smith, D. M. 1954. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. Forest Products Laboratory Report No. 2014.

—»— 1955. A comparison of two methods for determining the specific gravity of small samples of second-growth Douglas-fir. Forest Products Laboratory Report No. 2033.

—»— 1965. Rapid measurement of tracheid cross-sectional dimensions of conifers: Its application to specific gravity determinations. Forest Products Journal 15: 325—334.

Snedecor, George W. 1957. Statistical methods. Ames, Iowa.

Spurr, Stephen H. and Hsiung, Wen-Yeu. 1954. Growth rate and specific gravity in conifers. Journal of Forestry 52: 191—200.

Standard grading and dressing rules for Douglas-fir, west coast hemlock, Sitka spruce, and western red cedar lumber. Revised May 1, 1962. Number 15. 1962. Portland, Oregon.

Standard grading rules for southern pine lumber. 1963. Effective February 1, 1963. Southern Pine Inspection Bureau, New Orleans, Louisiana.

Stauffer, O. 1892. Untersuchungen über spezifisches Trockengewicht, sowie anatomischen Bau des Holzes der Birke. Forstlich-naturwissenschaftliche Zeitschrift 1: 145—163.

Stockman, Lennart. 1962. The influence of some morphological factors on the quality of spruce sulphite and pine sulphate pulp. Svensk Papperstidning 65: 978—982.

Stonecypher, Roy, Cech, Franklin C. and Zobel, Bruce J. 1964. Inheritance of specific gravity in two- and three-year-old seedlings of loblolly pine. Tappi 47: 405—407.

Tamminen, Zachris. 1962. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. I. Tall. Moisture content, density and other properties of wood and bark. I. Scots Pine. Kungl. Skogshögskolan — institutionen för virkeslära. Uppsatser nr R 41.

—»— 1964. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. II. Gran. Moisture content, density and other properties of wood and bark. II. Norway spruce. Skogshögskolan. Institutionen för virkeslära. Rapporter nr R 47.

Tapion Taskukirja. 1959. Tärkeimmät puutavaralajit. Pyöreä puutavara. Pp. 241—245. Helsinki.

Tappi Monograph Series — No. 24. 1962. The influence of environment and genetics on pulpwood quality. An annotated bibliography.

Taras, Michael A. and Wahlgren, Harold E. 1963. A comparison of increment core sampling methods for estimating tree specific gravity. U. S. Forest Service Research Paper SE—7.

Thorbjornsen, Eyvind. 1961. Variation in density and fiber length in wood of yellow poplar. Tappi 44: 192—195.

Toda, Ryookiti. 1958. Variation and heritability of some quantitative characters in *Cryptomeria*. Silvae Genetica 7: 87—93.

Trendelenburg, Reinhard. 1939. Das Holz als Rohstoff. München.

Trendelenburg, R. and Mayer-Wegelin, H. 1955. Das Holz als Rohstoff. München.

Tsoumis, George. 1964. Microscopic measurement of the amount of cell wall substance in wood and its relationship to specific gravity. Tappi 47: 675—677.

Turnbull, J. M. 1937. Variations in strength of pine timbers. South African Journal of Science 33: 653—682.

—»— 1942. A study in stem design. The Journal of the South African Forestry Association 8: 112—117.

—»— 1947. Some factors affecting wood density in pine stems. Union of South Africa, Department of Forestry. Publication No. 82.

Uittoteho ry. and Oy Keskuslaboratorio. 1966. Eräitä tutkimustuloksia mänty- ja kuusipaperipuun tilavuus- ja painosuhteista sekä niiden vaikutuksesta massan saantoon Etelä- ja Pohjois-Suomessa.

U. S. Forest Service. 1965 a. Southern wood density survey. 1965 status report. U. S. Forest Service Research Paper. FPL—26.

U. S. Forest Service. 1965 b. Western wood density survey. Report Number 1. U. S. Forest Service Research Paper. FPL—27.

Volkert, Erik. 1941. Untersuchungen über Grösse und Verteilung des Raumgewichts in Nadelholzstämmen. Schriftenreihe der Hermann-Göring-Akademie der Deutschen Forstwissenschaft. Band 2: 1—133.

Vuokila, Yrjö. 1960. Siperialaisten lehtikuusikoiden kehityksestä ja merkityksestä maamme metsätaloudessa. On development of Siberian larch stands

and their importance to forestry in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 52.5.

Vuoristo, Ilmari. 1937. Suomen puuvanuketeollisuuden käyttämän kuusipaperipuun laatututkimuksia. Untersuchungen über die Qualität des von der Zellulose- und Schleifholzindustrie verbrauchten Fichtenpapierholzes in Finnland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 23.2.

Wahlgren, H. E. 1965. Forest Service western wood density survey: Phases II (increment core processing) and III (estimating tree specific gravity). Proceedings of the symposium on density — — — a key to wood quality: 21—35. Madison, Wisconsin.

Wahlgren, Harold E. and Fassnacht, Donald L. 1959. Estimating tree specific gravity from a single increment core. Forest Products Laboratory Report No. 2146.

Walldén, Paul. 1934. Tutkimuksia koivupuun anatoomisen rakenteen ja teknillisten ominaisuuksien keskinäisestä riippuvaisuudesta solumittauksien perusteella. Untersuchungen über die Abhängigkeit der technischen Eigenschaften vom anatomischen Bau des Birkenholzes nach Zellenmessungen. Acta Forestalia Fennica 40: 14.

Walters, C. S. and Bruckmann, G. 1964. A comparison of methods for determining volume of increment cores. Journal of Forestry 62: 172—177.

Wegelius, Th. 1939. The presence and properties of knots in Finnish spruce. Investigations concerning the origin and characteristics of branch and knot wood in Finnish spruce with particular consideration given to the raw material needs of the paper industry. Acta Forestalia Fennica 48: 1.

—»— 1946. Det finska granvirkets egenskaper och kvalitetsvariationer. Svensk Papperstidning 49: 51—61.

—»— 1949. Puun kulutuksesta ja puun laadun merkityksestä hiomoissa ja selluloosatehtaissa. Tapion Taskukirja, pp. 361—363.

Wheeler, P. R. and Mitchell, H. L. 1962. Specific gravity variation in Mississippi pines. Forest Products Laboratory Report No. 2250.

Wijkander, Aug. 1897. Untersuchungen der Festigkeits-Eigenschaften schwedischer Holzarten. Göteborg.

Wilde, S. A. and Paul, B. H. 1951. Rate of growth and composition of wood of quaking and largetooth aspen in relation to soil fertility. Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters 11: 245—250. (Cited from Tappi Monograph Series — No. 24. 1962).

Wilde, S. A., Paul, Benson H. and Mikola, Peitsa. 1951. Yield and quality of jack pine pulpwood produced on different types of sandy soils in Wisconsin. Journal of Forestry 49: 878—881.

Williams, Robert F. and Hamilton, John R. 1961. The effect of fertilization on four wood properties of slash pine. Journal of Forestry 59: 662—665.

Yandle, D. O. 1956. Statistical evaluation of the effect of age on specific gravity in loblolly pine. Forest Products Laboratory Report No. 2049.

Yleiset vanerikoivujen mittaus- ja laatumääritelmät. 1961. Jyväskylä.

Ylinen, Arvo. 1951. Über den Einfluss des Spätholzanteils und der Jahrringsbreite auf die Rohwichte beim finnischen Kiefernholz. Holz als Roh- und Werkstoff 9: 449—456.

Zobel, Bruce. 1961. Inheritance of wood properties in conifers. Silvae Genetica 7: 67—70.

Zobel, Bruce. 1963. Breeding for wood properties in forest trees. World consultation on forest genetics and tree improvement. FAO/FORGEN 63—7/0. Stockholm.

Zobel, B. J., Goggans, J. F., Maki, T. E. and Henson, F. 1961. Some effects of fertilizers on wood properties of loblolly pine. Tappi 44: 186—192.

Zobel, Bruce J. and McElwee, Robert L. 1958. Variation of cellulose in loblolly pine. Tappi 41: 167—170.

Zobel, Bruce, Webb, Charles and Henson, Fay. 1959. Core or juvenile wood of loblolly and slash pine trees. Tappi 42: 345—356.

TUTKIMUKSIA MÄNNYN, KUUSEN JA KOIVUN PUUAINEEN TIHEYDESTÄ

LYHENNELMÄ

Johdanto

Puun laatu on puun käyttötapaan sidottu käsite, jota ei voida ilmaista yksiselitteistä mittasuuretta käyttäen. Puun laadun inventointi voidaan kuitenkin suorittaa mittaamalla yksi tai useita puuaineen ominaisuuksia, jotka antavat kuvan puun soveltuvuudesta tiettyyn käyttötarkoitukseen. Tällaisia puun laadun arvioimisessa käytettäviä puuaineen ominaisuuksia kutsutaan puun laadun tunnuksiksi.

Erilaisista puun ominaisuuksista puuaineen tiheys täyttää parhaiten puun laadun tunnukselle tässä tutkimuksessa asetetut vaatimukset. Johdantoluvun kirjallisuuskatsaus osoittaa, että puuaineen tiheydellä on tärkeä merkitys sahatavaran, vanerin, lastulevyjen, hiokkeen, selluloosan, paperin, pylväitten, paalujen ja polttopuun laatuun. Puuaineen tiheydestä riippuu lisäksi raaka-aineen kulutus esimerkiksi hioketta ja selluloosaa valmistettaessa.

Puuaineen tiheydellä tarkoitetaan absoluuttisen kuivan puun painoa tilavuusyksikköä kohti, kun tilavuus määritetään puun ollessa tuoreessa tilassa. Puuaineen tiheys ilmoitetaan tavallisesti grammoina kuutiosenttimetriä kohti, mutta tässä yhteydessä on katsottu käytännöllisistä syistä edullisemmaksi ilmoittaa se kilogrammoina kiintokuutiometriä kohti. Esitetyt luvut kuvaavat täysin terveen, virheettömän puuaineen tiheyttä.

Tutkimuksen tärkeimmät tavoitteet ovat olleet seuraavat.

1. Rungon sisäisen tiheyden vaihtelun selvittäminen.
2. Runkojen välisen tiheyden vaihtelun selvittäminen.
3. Tärkeimpien puutavaralajien puuaineen tiheyden selvittäminen.
4. Menetelmän kehittäminen puuaineen tiheyttä selvittelevän inventoinnin suorittamiseksi siten, että näytteet voidaan kerätä pystypuista.

Tutkittavat puulajit olivat mänty, kuusi, rauduskoivu ja hieskoivu. Tutkimus keskitettiin rajoitetulle maantieteelliselle alueelle.

Taulukoitten yhteydessä käytettyjen lyhennysten merkitys selitetään sivulla 8.

Aineisto ja menetelmä

Tutkimusaineisto kerättiin metsäntutkimuslaitoksen Vilppulan, Vesijaon ja Punkaharjun kokeilualueista, Vilppulan ja Vesijaon kokeilualueitten välillä sijaitsevista yksityismetsistä sekä Evon hoitoalueesta (kuva 1). Alue on ilmastollisesti yhtenäinen (taulukko 1).

Tutkimusalueelta kaadettiin 785 mänty-, 751 kuusi-, 249 rauduskoivu- ja 310 hieskoivukoepuuta, joitten mitat ja ominaisuudet on esitetty taulukoissa 2 ja 3. Jokaisesta rungosta otettiin läpimitaltaan 5.5 mm:n kasvukairalla 6—10 pinnasta yti-

meen ulottuvaa lastua. Ensimmäinen näyte otettiin kannonkorkeudelta, seuraavat edellisestä lähtien tasapitkin välein siten, että näytteitten etäisyys toisistaan oli aina 10 % rungon pituudesta (kuva 2). Suurissa puissa otettiin viimeinen näyte 90 %:n korkeudelta. Pienimmissä puissa saattoi jopa 50 %:n korkeudelta otettu lastu jäädä viimeiseksi, sillä näytteitä ei kerätty latvuksesta, jonka läpimitta oli vähemmän kuin 3—4 cm. Lastujen yhteismäärä oli 20 220.

Kaadetut koepuut jaettiin puutavaralajeihin yleisesti käytettyjä laatuvaatimuksia noudattaen. Minimiläpimitta oli mänty- ja kuusitukeilla 5″, koivutukeilla 6″, paperipuulla 8 cm sekä ohutpaperipuulla ja koivuhalolla 5 cm. Jokaisesta lastusta merkittiin muistiin puutavaralaji, jota näyte edusti.

Kairanlastujen tiheys määritettiin Ericsonin (1959) kehittämää elohopeaanupottamismenetelmää käyttäen siten, että pituudeltaan yli 4.0 cm:n lastut käsiteltiin kolmena, 2.5—4.0 cm:n lastut kahtena ja alle 2.5 cm:n lastut yhtenä kappaleena. Menetelmään liittyvä systemaattinen virhe (taulukko 4) korjattiin kuvan 3 osoittamilla regressioyhtälöillä.

Aineiston tilastollinen käsittely perustuu pääasiallisesti lineaariseen regressioanalyysiin. Rungon keskimääräisen tiheyden vaihtelua pyrittiin selittämään erilaisilla rungon tai metsikön ulkoisia tunnuksia kuvaavilla riippumattomilla muuttujilla. Sivuilla 29 ja 31 on esitetty muuttujien X_1—X_{23} merkitykset. Taulukko 5 osoittaa eräitten riippumattomien muuttujien väliset korrelaatiokertoimet.

Tulokset

Puuaineen tiheyden vaihtelu rungon sisällä

Puuaineen tiheys lisääntyy rungon ytimestä kambiumia kohti tiettyyn ikään saakka (taulukko 7). Männyllä ja rauduskoivulla tämä muutos on erityisen voimakas nuorpuun alueella. Kuusipuussa tiheys kuitenkin aluksi alenee kambiumia kohti, mutta jo muutaman vuosiluston jälkeen se alkaa lisääntyä.

Mäntypuun poikkileikkauspinnan keskimääräinen tiheys saavuttaa suurimman arvonsa, kun rungon ikä asianomaisella korkeudella on noin 80 vuotta. Kuusipuussa tämä tapahtuu ilmeisesti paljon myöhemmin, koivupuussa taas jo aikaisemmin (kuva 5).

Havupuitten puuaineen tiheys riippuu erityisesti kesäpuuprosentista. Mäntypuussa voitiin 53 % ja kuusipuussa 40 % puuaineen tiheyden varianssista selittää kesäpuuprosentin vaihtelusta aiheutuvaksi. Tiheyden ja kesäpuuprosentin välistä positiivista korrelaatiota voidaan kuvata suoralla viivalla (kuva 4). Ytimen ympäristön puuaineen pieni tiheys aiheutuu männyllä osaksi nuorpuun alhaisesta kesäpuuprosentista (taulukko 6).

Puuaineen tiheyden ja vuosiluston paksuuden korrelaatiota kuvaa niin ikään suora viiva. Korrelaatio on kaikilla puulajeilla negatiivinen. Tätä korrelaatiota tutkittaessa on ehdottomasti otettava huomioon nuorpuuilmiön vaikutus. Jollei näin menetellä, päädytään virheellisiin lopputuloksiin. Nuorpuuvyöhykkeen ulkopuolella erityisesti kuusipuun tiheys pienenee puun kasvunopeuden lisääntyessä (kuva 6).

Puutavaralajien väliset erot puuaineen tiheydessä riippuvat suureksi osaksi rungon pituussuuntaisesta tiheyden vaihtelusta, joka on jyrkin lyhyissä rungoissa mutta suurin pitkissä rungoissa (kuva 7). Mäntyrungon tiheys pienenee huomattavasti tyvestä latvaa kohti, niin että tiheys on 90 %:n korkeudella 20 % alhaisempi kuin kannonkorkeudella. Rauduskoivussa vaihtelu on selvästi pienempi ja hieskoivussa jo varsin vähäinen. Rauduskoivun tiheys on rungon tyvessä keskimäärin 30 kg/k-m^3

suurempi kuin hieskoivun, mutta ero tasoittuu latvaa kohti. Kuusirungon tiheys laskee aluksi tyvestä ylöspäin noustaessa mutta alkaa latvuksen sisällä uudelleen lisääntyä latvaa kohti (kuva 8). Tästä syystä puuaineen tiheys on kuusirungon ylimmissä osissa keskimäärin korkeampi kuin mäntyrungossa vastaavasti.

Jos rungon tiheys määritetään rinnankorkeudelta otetun näytteen perusteella, päädytään liian korkeaan arvoon, ellei tulosta korjata (taulukko 8). Tässä tutkimuksessa on kehitetty menetelmä, jota käyttäen voidaan määrittää rungon keskimääräinen tiheys rinnankorkeudelta otetun näytteen perusteella. Puulajista ja valitusta regressioyhtälöstä riippuen saavutetaan 95 %:n luotettavuudella tarkkuus 22—28 kg/k-m^3 (taulukko 9), jos puuaineen tiheys rinnankorkeudella määritetään kahden näytteen perusteella.

Rungon 25 prosentin korkeudella puuaineen tiheys on sama kuin koko rungossa keskimäärin (taulukko 10). Jos näytteet otetaan rinnankorkeuden sijasta 25 prosentin korkeudelta, voidaan rungon keskimääräinen tiheys määrittää edellistä suuremmalla tarkkuudella (taulukko 11). Tällaisen menetelmän käytännöllinen merkitys on kuitenkin vähäinen.

Puuaineen tiheyden vaihtelu runkojen välillä

Rungon keskimääräisen tiheyden hajonnan suuruus on havupuilla 8 % ja koivuilla 6 % puulajin keskiarvosta (taulukko 20). Käyttäen hyväksi rungon ulkoisia tunnuksia voitiin selittää 41 % männyn, 37 % kuusen, 24 % rauduskoivun ja 15 % hieskoivun rungon keskimääräisen tiheyden varianssista (taulukko 19). Ottamalla mukaan myös metsätyyppi voitiin edellisiä arvoja mäntyä lukuunottamatta parantaa. Selitetyn varianssin osuus oli silloin vastaavasti 41 %, 40 %, 28 % ja 16 %.

Yksityisistä muuttujista, joilla rungon keskimääräisen tiheyden vaihtelua pyrittiin selittämään, osoittautui männyllä ja koivuilla parhaaksi puun iän käänteisluku (taulukot 12 ja 13). Kuusen kohdalla sitä vastoin rinnankorkeusläpimitan ja iän osamääränä ilmoitettu kasvunopeus johti parhaaseen tulokseen. Tämä nähdään sivulla 61 olevasta asetelmasta, jossa b_2:lla tarkoitetaan kuoren päältä senttimetreinä mitatun rinnankorkeusläpimitan ja iän osamäärään regressioyhtälössä liittyvää kerrointa. Myös metsätyyppi vaikuttaa kehittyvän puuaineen tiheyteen (taulukko 17).

Kun selittävänä muuttujana kokeiltiin yksinomaan puun pituutta, rinnankorkeusläpimittaa tai rinnankorkeusläpimitan ja pituuden suhdetta, regressioyhtälöitten kokonaiskorrelaatiokertoimet olivat pieniä (taulukko 14). Mutta kun rinnankorkeusläpimittaa käytettiin rungon iän tai iän käänteisluvun kanssa samanaikaisesti riippumattomana muuttujana, sillä voitiin huomattavasti parantaa kokonaiskorrelaatiokerrointa männyllä ja kuusella (taulukko 15). Havupuitten kohdalla myös eri latvuskerrosten puitten välillä oli merkitseviä eroja puuaineen tiheydessä (taulukko 16).

Tärkeimpien puutavaralajien puuaineen tiheys

Tutkimustulosten sovellutuksena on laskettu saha- ja vaneritukkien, tavallisen paperipuun, latvapaperipuun, ohutpaperipuun, latvaohutpaperipuun, polttopuun, sahauspinnoista valmistettavan hakkeen sekä hakkuutähteinä metsään jäävien alle 5 cm:n paksuisten latvojen puuaineen tiheys (taulukot 21—24). Tulokset osoittavat, että erityisesti männyn kohdalla on puutavaralajien välillä eroja, jotka vaikuttavat myös tavaralajien arvosuhteisiin. On huomattava, että kysymyksessä on terveen, virheettömän puuaineen tiheys.

Tulosten luotettavuus

Tarkasteltaessa tulosten luotettavuutta voidaan katsoa, että tutkimusaineisto täyttää lineaarisen regressioanalyysin käytölle asetetut edellytykset.

Männyllä ja kuusella rungon keskimääräisen tiheyden jakautuma poikkeaa kuitenkin merkitsevästi normaalijakautumasta siten, että keskiarvoa pienemmät tiheydet ovat yleisempiä kuin sitä suuremmat tiheydet (kuvat 11—14). Käytettyjen t- ja F-testien luotettavuus saattaa siitä syystä olla eräissä tapauksissa männyn ja kuusen kohdalla pienempi kuin ilmoitettu 95 %.

Aineiston perusteella laskettuja puutavaralajien keskimääräisiä tiheyksiä on ehdotettu käytettäväksi koko Etelä-Suomea varten. Samalla kuitenkin tähdennetään puuaineen tiheyden maantieteellisen vaihtelun selvittämisen tärkeyttä.

Käytännöllisiä näkökohtia

Eri yhteyksissä on jouduttu kiinnittämään vakavaa huomiota siihen, että tulevaisuuden metsiemme tuottaman puuaineen tiheys näyttää väistämättä jäävän pienemmäksi kuin nykymetsissämme on asianlaita. Tähän vaikuttavat etenkin kiertoajan lyhentäminen sekä erilaisten metsähoitotoimenpiteitten ansiosta tapahtuva puun kasvun nopeutuminen. Vastapainoksi olisi turvauduttava metsänjalostuksen tarjoamiin mahdollisuuksiin.

Kirjallisuusviitteitten perusteella näyttää siltä, että selittämättä jääneen vaihtelun suuruus aiheutui huomattavassa määrin puitten perinnöllisistä tekijöistä. Siitä syystä on pidettävä tärkeänä puuaineen tiheyden huomioon ottamista metsäpuitten jalostustyössä. Erityisesti pluspuita valittaessa olisi puun kasvunopeus määritettävä kuutiotuoton sijasta kuiva-ainetuottona. Eräät tutkimukset viittaavat siihen, että puuaineen tiheyden ja puun kuutiokasvun välinen negatiivinen korrelaatio on osaksi myös geneettinen kysymys. Jollei siis pluspuita valittaessa oteta huomioon puuaineen tiheyttä, päädytään materiaaliin, jossa puuaineen tiheys on pienempi kuin nykypuustossamme keskimäärin.

ISTUTETTUJEN MÄNNYN TAIMIEN JUURISTON ENSI KEHITYKSESTÄ TUPASVILLARÄMEELLÄ

EERO PAAVILAINEN

INITIAL DEVELOPMENT OF ROOT SYSTEMS OF SCOTS PINE TRANSPLANTS IN AN *ERIOPHORUM VAGINATUM* SWAMP

SUMMARY

HELSINKI 1966

Sisällys

Sivu

Johdanto 3
Koeistutukset 5
boratoriokäsittely 6
uriston kehitys ilman lannoitusta 7
Lannoituksen vaikutus juuriston kehitykseen 10
Maanpintaan annettu lannoitus 10
Istutusrakoon annettu lannoitus 12
Yhdistelmä 13
Kirjallisuutta 15
Summary 17

Helsinki 1966. Valtioneuvoston kirjapaino

Johdanto

Männyn istutuksia on suoritettu turvemailla verraten vähän. Suot uudistuvat yleensä luontaisestikin hyvin (mm. Lukkala 1946, Heikurainen 1954), ja silloin kun keinollinen metsittäminen niillä on ollut tarpeen, on käytetty joko ruutu- tai hajakylvöä. Istutus on tullut kysymykseen kylvön asemasta vain poikkeustapauksissa, kuten esim. voimakkaasti heinittyvillä nevoilla. Ojitusmenetelmien viimeaikaisen kehityksen ja metsän lannoituksen yleistymisen mukana männyn istutuksen merkitys on kuitenkin entisestään huomattavasti lisääntynyt. Tämän vuoksi on tarpeen tutkia, mitkä istutusmenetelmät sopivat parhaiten turvemaille, ja minkälaisia tuloksia niillä saavutetaan erilaisissa olosuhteissa.

Istutuksen onnistuminen päätellään yleensä taimien maanpäällisistä osista tehtyjen havaintojen perusteella. Vähintään yhtä tärkeätä olisi kuitenkin selvittää myös juuristojen istutuksen jälkeistä kehitystä, sillä taimien siirto taimitarhasta istutusalueelle tuntuu voimakkaimmin nimenomaan juuristoon vaikuttavien kasvupaikkatekijöiden muutoksena.

Kun taimitarhassa kasvanneet taimet istutetaan niukkaravinteiselle kasvupaikalle, jossa lisäksi vallitsee kasvien välinen ankara juuristokilpailu, muuttaa istutus taimien juuristoon vaikuttavien kasvupaikkatekijöiden yhdistelmää epäedulliseen suuntaan. Esim. runsaasti lannoitetussa taimitarhamaassa kasvanut suppea juuristo ei tällöin pysty toimittamaan versolle riittävästi vettä ja ravinteita, ja seurauksena saattaa olla taimien kituminen, jopa kuoleminen (Björkman 1944, 1954).

Myös silloin, kun taimet on kasvatettu taimitarhassa asianmukaista lannoitus- ym. tekniikkaa käyttäen, voi istutusta seurata juromiskausi, koska taimien alkuperäinen juuristo toimii vain osaksi ravintoaottavana elimenä. Tehokas ravinnonotto on mahdollista vasta, kun uusia juuria on muodostunut istutuksen jälkeen (vrt. Heikinheimo 1941, Björkman 1953).

Juuristoihin kohdistuva tutkimus on tarpeellista myös selvitettäessä istutusmenetelmän vaikutusta taimien kehitykseen. Niinpä, jos juuristo joutuu istutettaessa liian syvälle, saattaa vaikutus olla taimien kasvulle varsin haitallinen. Myös juuriston sijoittaminen hyvin suppeaan tilaan, kuten tapahtuu kanki- ja kiilaistutuksessa, on verson kasvun kannalta epäedullista (Wibeck 1923, Heikinheimo, m.t.).

Tässä tutkimuksessa on pyritty selvittämään ojittamattomalle ja ojitetulle tupasvillarämeelle istutettujen 2/1-vuotisten männyn taimien juuriston kehitystä ensimmäisenä kasvukautena istutuksen jälkeen kiilaistutusta käytettäessä. Vertailuaineistona on tutkittu puolukkatyypin kankaalle samanaikaisesti istutettujen ja samanikäisten männyn taimien juuriston kehitystä. Sen lisäksi on tutkittu ojittamattomalla ja ojitetulla tupasvillarämeellä, miten istutuksen yhteydessä suoritettu lannoitus, joko maanpintaan tai istutusrakoon annettuna, vaikuttaa juuriston ensi kehitykseen.

Kirjoittaja esittää parhaat kiitokset saamistaan neuvoista professoreille Olavi Huikari, Peitsa Mikola, Risto Sarvas ja P. J. Viro sekä metsät. lis. Olavi Laiholle.

Koeistutukset

Tutkimus suoritettiin metsäntutkimuslaitoksen Pohjois-Satakunnan kokeilualueessa Karvian Alkkiassa. Koeistutuksissa käytettiin 2/1-vuotiaita männyn taimia, jotka saatiin v. 1962 tutkimuslaitoksen Punkaharjun taimitarhalta ja seuraavina vuosina Satakunnan metsänhoitolautakunnan Ahlaisten Kankaanrannan taimitarhalta.

Vuonna 1962 selvitettiin juuriston kehitystä silloin, kun taimia ei lannoiteta istutuksen yhteydessä. Koealat valittiin ojittamattomalta (TR) ja v. 1937 ojitetulta (TR oj.) tupasvillarämeeltä sekä puolukkatyypin kankaalta (VT), jossa on suoritettu avohakkuu v. 1947. Juuriston rakennetta ennen istutusta selvitettiin 50 taimitarhataimesta. Istutukset suoritettiin 1. 6. 1962. Taimia oli kaikkiaan seuraava määrä.

	Taimia, kpl
Ennen istutusta	50
TR	200
TR oj.	200
VT	200

Koeistutukset lannoituksen vaikutuksen selvittelyä varten aloitettiin v. 1963 ja niitä jatkettiin v. 1965. Edellä mainituille tupasvillarämeen koealoille istutettiin 10. 6. 1963 taimia seuraavasti:

	Taimia, kpl	
	Lannoittamaton	Lannoitettu
TR	100	100
TR oj.	100	100

Lannoitteena käytettiin suomaiden Y-lannosta (14—18—10) 25 g/taimi. Lannoite annettiin istutuksen yhteydessä 0.25 m^2:n suuruiselle alalle taimen ympärille maanpintaan.

Jatkettaessa tutkimuksia vuonna 1965 ei aikaisemmin käytetyistä tutkimuskohteista saatu enää riittävän homogeenisia koealoja, minkä vuoksi istutukset suoritettiin tupasvillarämeellä, joka oli ojitettu pintavesivakoja käyttäen saman vuoden keväällä. Koeistutukset jakaantuivat kahteen ryhmään, joista toisessa lannoite annettiin taimen ympärille maanpintaan,

toisessa taas istutusrakoon. Edellisessä ryhmässä suoritettiin istutus ja lannoitus 10.—12. 6. 1965. Taimia käytettiin seuraavasti:

Laikkulannoitus maanpintaan, g/taimi [1])	Taimia, kpl
0	100
25	100
50	100
75	100
100	100

[1]) Suomaiden Y-lannosta (14—18—10) 0.25 m²:n alalle

Jälkimmäisessä ryhmässä istutus ja lannoitus suoritettiin 23. 6. 1965. Koe-eriä oli seuraavat kuusi, joista jokaisessa oli 50 tainta.

1) Vertailuala
2) N-lannoitus (kalkkiammonsalpietari)
3) P-lannoitus (hienofosfaatti)
4) K-lannoitus (kalisuola)
5) PK-lannoitus (PK-lannos)
6) NPK-lannoitus (suomaiden Y-lannos)

Lannoite, jota käytettiin 25 g tainta kohden, annettiin istutuksen yhteydessä suoraan istutusrakoon.

Koeistutuksia varten valittiin alunperin riittävän suuret aukkopaikat, niin että varttunut puusto ei päässyt vaikuttamaan taimien kehitykseen, ja alueilla kasvaneet luonnontaimet poistettiin ennen istutusta. Istutus suoritettiin turvemaalla kiilaistutuksena kapeateräistä lapiota apuna käyttäen ja VT:llä istutuskankea käyttäen kanki-istutuksena. Istutuksen yhteydessä pidettiin erityisesti silmällä, että taimien juuristo tuli mahdollisimman tarkoin pystysuoraan asentoon.

Laboratoriokäsittely

Tutkimuksia varten istutusalueilta nostetut taimet puhdistettiin niihin takertuneesta maasta varovaisella vesihuuhtelulla, minkä jälkeen taimet katkaistiin juurenniskasta. Kunkin taimen juuristosta mitattiin elävien pitkäjuurien yhteinen pituus 1 cm:n tarkkuudella ja laskettiin lyhytjuurten lukumäärä. Jokainen lyhytjuuren kärki luettiin erillisenä. Osalla taimista suoritettiin nämä mittaukset erikseen seuraavissa, juurenniskasta lähtien

erotelluissa syvyyskerroksissa: 0—5 cm, 5—10 cm, 10—15 cm, 15—20 cm ja yli 20 cm. Tämän lisäksi tehtiin lyhytjuurista joitakin mikrotomileikkeitä Mikolan ja Persidskyn (1951) esittämällä menetelmällä. Leikkeiden mikroskooppisessa tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota seuraaviin kysymyksiin:

— lyhytjuuressa esiintyviin vuosirajoihin
— lyhytjuuren kuorikerroksen laatuun
— mykoritsatyyppiin (onko mykoritsa ektotrofinen vai ekt-endotrofinen)
— mykoritsasienen infektion voimakkuuteen, etenkin vaipan muodostukseen.

Tutkituista taimista mitattiin myös varren pituus ja verson kuivapaino. Taimien juuristoista ja maanpäällisistä osista mitatuista tunnuksista laskettiin keskenään vertailtavia taimieriä koskevat keskiarvot. Keskiarvoerojen merkitsevyyttä tutkittiin varianssianalyysin avulla.

Juuriston kehitys ilman lannoitusta

Juuriston kehitystä ilman lannoitusta selvitettiin vuonna 1962 istutetuista taimista.[1]) Jokaiselta keskenään vertailtavalta kasvupaikalta (TR, TR oj., VT) nostettiin tutkimuksia varten 20 tainta seuraavina aikoina: 15. 6, 1. 7, 16. 7, 1. 8, 15. 8, 1. 9 ja 15. 9. Juuriston rakennetta ennen istutusta selvitettiin 50 taimitarhataimesta.

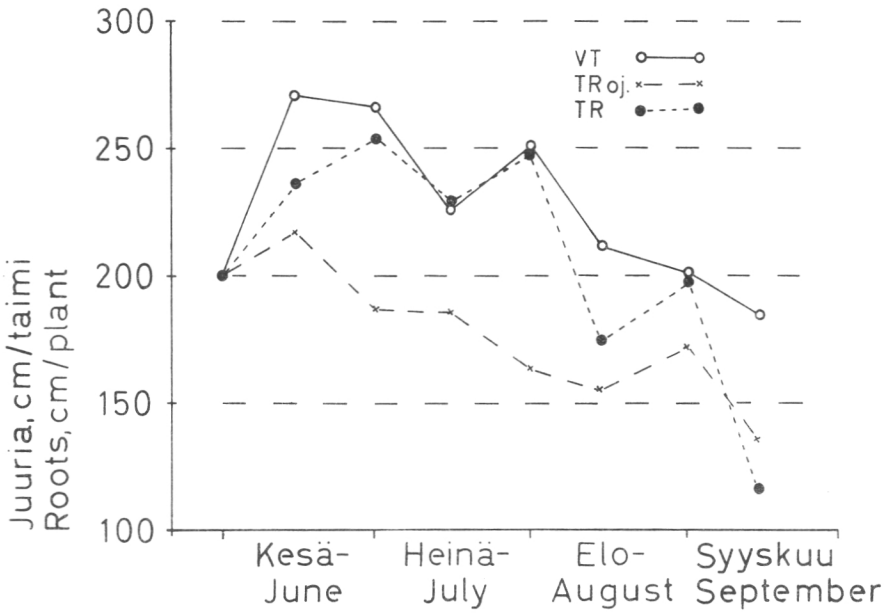
Pitkäjuurten pituudesta saadut tulokset osoittavat (kuva 1), että taimien juuriston kokonaispituus on lisääntynyt TR oj:a lukuunottamatta melko voimakkaasti istutuksen jälkeen. Kuitenkin jo kasvukauden loppuun mennessä juurten määrä on vähentynyt ainakin samaan tasoon kuin ennen istutusta. Nämä pitkäjuurten kokonaispituuden muutokset, etenkin juurten määrän lisääntyminen alkukesällä, saattavat osaksi johtua juuriston rakenteen kasvukautisesta vaihtelusta. Juurten määrän selvää vähentymistä elo-syyskuun aikana on kuitenkin vaikea selittää yksinomaan kasvukautisesta vaihtelusta johtuvaksi varsinkin, kun juurten pituuskasvu voi olla voimakasta myös loppukesällä (vrt. *Ladefoged* 1939, Heikinheimo 1940, Laiho ja Mikola 1964). Tulosten perusteella näyttääkin siltä, että juuristojen heikkoon kehitykseen kasvukauden lopulla on vaikuttanut niiden kasvuympäristössä tapahtunut muutos siirrettäessä taimet taimitarhasta istutusalueelle.

Verrattaessa juurten kokonaispituutta eri kasvupaikoilla kasvaneiden taimien kesken (kuva 1) havaitaan, että juurten määrä oli suurin VT:llä. Ero on tosin TR:seen nähden merkitsevä vain 15. 9. otetuilla taimilla. Juurten pituussumma oli selvästi pienin TR oj:lla. Juurten syvyysjakaantuminen

[1]) Tulokset on esitetty yksityiskohtaisemmin tekijän (Paavilainen 1963) kirjoituksessa

Kuva 1. Taimien pitkäjuurten kokonaispituuden muutokset kesä-syyskuussa 1962 (istutus 1. 6. 62).

Figure 1. Changes in the total length of long-roots from June through September 1962 (planting 1. 6. 62).



oli lähes samanlainen eri kasvupaikoilla (taulukko 1). Tämän mukaan kuivatuksesta johtuva maan vesitalouden ero ojittamattoman ja ojitetun tupasvillarämeen välillä ei ole vaikuttanut juurten syvyysjakaantumiseen ensimmäisen istutusta seuraavan kasvukauden aikana. Männyn juuristo näyttää näin ollen reagoivan luonnon olosuhteissa verraten hitaasti maan epäedulliseen vesitalouteen, mikä on ilmennyt myös varttuneita puita koskevissa tutkimuksissa (P a a v i l a i n e n 1966). Kontrolloiduissa laboratoriokokeissa on sen sijaan todettu, että anaerobinen kasvuympäristö, jollainen ojittamaton suo on jo lähellä maanpintaa, vaikuttaa haitallisesti männyn taimien juuristoon (H u i k a r i 1959).

Kuvasta 2 nähdään, että myös lyhytjuurten tiheys (kpl/juuri-dm) on lisääntynyt kesäkuun alkupuolella (VT:n ja TR oj.:n taimilla), vähentyen sen jälkeen melko nopeasti. TR:n taimilla ovat lyhytjuurten tiheyden muutokset olleet vähäisiä kesäkuukausien aikana. Tulosten mukaan on uusia lyhytjuuria muodostunut samaan aikaan, kun pitkäjuurten kokonaispituus on lisääntynyt. Myöhemmin kesällä on osa näistä kasvukauden aikana muodostuneista lyhytjuurista kuollut. Kun tutkimuksessa käytetyt taimet olivat 2/1-vuotiaita, on myös taimitarhassa muodostuneita vanhoja lyhytjuuria

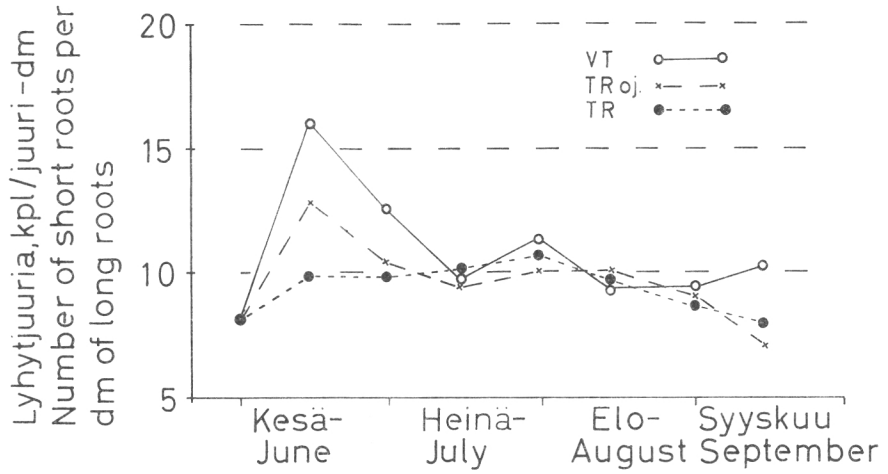
Taulukko 1. Pitkäjuurten syvyysjakaantuminen ennen istutusta ja eri kasvupaikoille istutetuilla taimilla kasvukauden keskiarvona.
Table 1. Vertical distribution of the long-roots before planting and after planting in various sites, average durign growing season.

Kasvupaikka — Site [1]	Syvyyskerros, cm — *Vertical zone, cm*				
	0—5	5—10	10—15	15—20	20
	% juurten kokonaispituudesta — % *of total root length*				
Ennen istutusta — *Before planting*	18.6	31.1	24.9	15.3	10.0
TR	15.0	30.0	26.5	17.7	10.9
TR oj.	17.5	32.3	26.8	15.9	7.5
VT	14.0	30.6	27.3	17.3	10.8

[1]) TR = undrained *Eriophorum vaginatum* swamp
TR oj. = drained *Eriophorum vaginatum* swamp
VT = *Vaccinium*-type firm-land site

ilmeisesti kuollut kesän aikana. Lyhytjuurten ikähän on männyllä tavallisesti vain 3—4 vuotta (L a i h o ja M i k o l a 1964).

Lyhytjuurten tiheydestä saadut tulokset osoittavat, että VT on ollut tutkituista kasvupaikoista edullisin lyhytjuurten muodostukselle. Edelleen voidaan todeta, että lyhytjuurten tiheys on ollut ojitetulla tupasvillarämeellä suurempi kuin ojittamattomalla. Kuivatus näyttää siis edistäneen lyhytjuurten muodostusta, kuten kirjallisuudessa on esitetty (B j ö r k m a n 1942, H e i k u r a i n e n 1955). Tällainen päätelmä on kuitenkin epävarma sen vuoksi, että kuivatuksen teho on jäänyt TR oj.:n koealalla suhteellisen vähäiseksi.



Kuva 2. Taimien lyhytjuurten tiheyden muutokset kesä-syyskuussa 1962 (istutus 1.6.62).
Figure 2. *Changes in the density of short-roots from June through September 1962 (planting 1.6.62).*

Edellä kuvatut juuriston rakenteen muutokset ovat tapahtuneet juurenniskasta lukien 0—15 cm:n syvyydessä (ks. Paavilainen 1963). Lyhytjuurten määrän muutokset ovat tapahtuneet lähempänä maanpintaa kuin pitkäjuurten määrän muutokset.

Tutkittaessa lyhytjuurista tehtyjä mikrotomileikkeitä kiinnitettiin erityisesti huomiota mykoritsasienen muodostaman vaipan esiintymiseen tai sen puuttumiseen, mikä yleensä antaa käsityksen kasvupaikan edullisuudesta mykoritsojen muodostukselle (mm. Melin 1927, Björkman 1942, Bergemann 1955, Mikola ja Laiho 1962). Heikolle kasvupaikalle on ominaista vaipan puuttuminen tai sen vaillinainen kehitys.

Tutkittuja leikkeitä oli taimitarhataimista 21 kpl. Istutetuista taimista tehtiin leikkeitä siten, että niitä oli jokaiselta kasvupaikalta 27 kpl. Vaipallisten ja vaipattomien sekä kuolleiden lyhytjuurten prosentuaalinen osuus tutkituista lyhytjuurista oli seuraava:

	Vaipalliset *With sheath*	Vaipattomat *Without sheath*	Kuolleet *Dead*
	% tutkituista lyhytjuurista % *of short-roots examined*		
Ennen istutusta *Before planting*	67	33	—
TR	4	74	22
TR oj.	26	55	19
VT	19	74	7

Mykoritsojen muodostus on ollut kaikilla kasvupaikoilla heikompi kuin ennen istutusta. VT on ollut hieman edullisempi kasvualusta mykoritsojen muodostuksen kannalta kuin tupasvillarämeen koealat.

Preparaateista todettiin myös, että taimitarhassa muodostuneet lyhytjuuret olivat pystyneet jatkamaan kasvuaan kaikilla kasvupaikoilla. Yleinen havainto kuitenkin oli, että mykoritsasienen infektio oli istutusalueella muodostuneessa lyhytjuuren osassa heikompi kuin sen taimitarhassa muodostuneessa osassa. Mykoritsatyyppi oli yleensä ektotrofinen. Viidellä lyhytjuurella tavattiin niiden taimitarhassa muodostuneessa osassa myös ektendotrofinen mykoritsa, joka oli istutuksen jälkeen muuttunut ektotrofiseksi.

Lannoituksen vaikutus juuriston kehitykseen

Maanpintaan annettu lannoitus

Maanpintaan annetun laikkulannoituksen vaikutusta juuriston kehitykseen tutkittiin vertaamalla elokuun lopulla nostettujen lannoitettujen ja lannoittamattomien taimien juuriston rakennetta. Vuonna 1963, jolloin istutukset suoritettiin edellä mainituilla kasvupaikoilla (TR, TR oj.), saatiin mittauksissa taulukossa 2 esitetty tulos (taimet nostettiin 28. 8. 1963),

Taulukko .2 Juurten kokonaismäärä, lyhytjuurten tiheys ja varren pituus v. 1963 istutetuilla taimilla.

Table 2. Total amount of roots, density of short roots and shoot length of the transplants planted in 1963.

Lannoite — *Fertilizer*	Juuria, cm/taimi *Roots, cm/transplant*	Lyhytjuuria, kpl/juuri-dm *Short-roots no./root-dm*	Varren pituus, mm *Shoot length, mm*
	Ojittamaton tupasvillaräme *Undrained Eriophorum vaginatum swamp*		
Laikkulannoitus, 25 g/taimi — *Patch fertilization, 25 g/transplant*	157	16.1	154
Vertailu — *Control*	124	12.9	139
	Ojitettu tupasvillaräme *Drained Eriophorum vaginatum swamp*		
Laikkulannoitus, 25 g/taimi — *Patch fertilization, 25 g/transplant*	127	16.3	130
Vertailu — *Control*	170	14.8	143

Tulosten mukaan lannoitus ei ole vaikuttanut merkitsevästi pitkäjuurten kokonaispituuteen kesällä 1963. Havaitut erot eri taimierien välillä johtuvat ensi sijassa tutkittujen taimien erilaisesta koosta. Lyhytjuurten tiheys on ollut lannoitetuilla taimilla hieman suurempi kuin lannoittamattomilla taimilla.

Vuonna 1965 saadut tulokset (taimet nostettiin 30. 8. 1965) osoittavat samoin kuin vuoden 1963 mittaukset, ettei pitkäjuurten kokonaispituus ole muuttunut lannoituksen vaikutuksesta (taulukko 3). Juuristojen pituuserot johtuvat tässäkin tapauksessa lähinnä taimien erilaisesta koosta. Lannoitus ei ole vaikuttanut myöskään lyhytjuurten tiheyteen.

Taulukko 3. Juurten kokonaismäärä, lyhytjuurten tiheys ja verson kuivapaino v. 1965 istutetuilla taimilla.

Table 3. Total amount of roots, density of short roots and shoot dry weight of transplants planted in 1965.

Laikkulannoitus, g/taimi *Patch fertilization, g/transplant*	Juuria, cm/taimi *Roots, cm/transplant*	Lyhytjuuria, kpl/juuri-dm *Short-roots, no./root-dm*	Verson kuivapaino, g *Shoot dry weight, g*
0	199	19.4	2.13
25	152	17.5	1.24
50	153	20.5	1.22
75	150	19.4	1.13
100	179	17.5	1.81

Taulukoiden 2 ja 3 perusteella voidaan edelleen todeta, ettei maanpintaan annettu lannoitus ole lisännyt taimien varren pituutta tai kuivapainoa lannoittamattomien koealojen taimiin verrattuna.

Taulukko 4. Pitkäjuurten syvyysjakaantuminen v. 1965 istutetuilla taimilla.
Table 4. Vertical distribution of the long-roots of the transplants planted in 1965.

Laikkulannoitus, g/taimi *Patch fertilization, g/transplant*	Syvyyskerros, cm — *Vertical zone, cm*				
	0—5	5—10	10—15	15—20	>20
	% juurten kokonaispituudesta *% of total root length*				
0	21.1	43.1	23.8	7.9	4.1
25	21.6	43.8	23.3	7.9	3.4
50	13.4	40.5	31.1	11.2	3.7
75	17.5	38.4	26.5	11.9	5.7
100	25.4	43.2	21.0	8.0	2.3

Juurten jakaantuminen eri syvyyskerroksiin sekä lyhytjuurten tiheys eri syvyyksissä selviävät taulukoista 4 ja 5. Kukin luku on 50 taimen mittauksesta saatu keskiarvo. Tulokset osoittavat, ettei lannoitus ole vaikuttanut myöskään juurten syvyysjakaantumiseen. Eri taimierien väliset erot johtunevat aineiston satunnaisvaihtelusta.

Taulukko 5. Lyhytjuurten tiheys eri syvyyskerroksissa v. 1965 istutetuilla taimilla.
Table 5. Density of short roots in various vertical zones of the transplants planted in 1965,

Laikkulannoitus, g/taimi *Patch fertilization, g/transplant*	Syvyyskerros, cm — *Vertical zone, cm*				
	0—5	5—10	10—15	15—20	>20
0	17.4	19.0	17.6	13.7	11.4
25	17.7	22.2	18.9	18.5	11.2
50	15.0	21.4	21.0	16.3	11.6
75	17.0	19.9	21.1	23.6	13.3
100	16.1	20.5	18.9	13.7	9.3

Istutuksen yhteydessä maanpintaan annettu laikkulannoitus ei ole esitettyjen tulosten mukaan vaikuttanut mainittavasti taimien juuriston ensi kehitykseen. Juuriston rakenne ei ole muuttunut vertailualaan verrattuna niinkään suurta lannoitemäärää käytettäessä kuin 100 g suomaiden Y-lannosta tainta kohden.

Istutusrakoon annettu lannoitus

Vuoden 1965 koeistutuksissa annettiin osalle taimista lannoite istutuksen yhteydessä suoraan istutusrakoon, jolloin lannoite joutui välittömään kosketukseen juuriston kanssa. Mittaustulokset osoittavat (taulukko 6), että tällainen sijoituslannoitus on vaikuttanut haitallisesti juuriston kehitykseen ja aiheuttanut maanpäällisten osien kuolemista. Niilläkin taimilla, joilla osa

juuristosta on jäänyt eloon, on juurten määrä ollut selvästi pienempi kuin lannoittamattomilla vertailutaimilla. Haitallisin vaikutus on ollut typpi- ja kalilannoituksella. Näitä lannoitteita käytettäessä kuoli 60—70 % taimista vajaan viikon aikana. Pelkän fosforilannoituksen myrkkyvaikutus oli vähäisin ja ilmeni myös huomattavasti hitaammin kuin typen tai kalin. Niinpä kuukauden kuluttua istutuksesta oli verso elossa 90 %:lla taimista, joille oli annettu 25 g hienofosfaattia istutusrakoon.

Taulukko 6. Taimien verson ja juuriston elossapysyvyys sekä juurten määrä annettaessa lannoite istutusrakoon.

Table 6. The survival of the shoot and the root system of the transplants, and the amount of roots, when the fertilizer dose has been placed into the planting hole.

Lannoite *Fertilizer*	Verso elossa *shoot alive*	Juuristo elossa *Root system alive*	Juuri, cm/taimi *Roots, cm/transplant*
	% tutkituista taimista *% of the transplants examined*		
Vertailu *Control*	96	98	125
N	4	34	46
P	84	78	74
K	0	54	58
PK	0	76	78
NPK	4	80	49

Yhdistelmä

Tässä tutkimuksessa on selvitetty istutettujen 2/1-vuotisten männyn taimien juuriston ensi kehitystä ojittamattomalla ja ojitetulla tupasvillarämeellä. Vertailua varten on tutkittu myös samanikäisten ja samaan aikaan istutettujen männyn taimien juuriston kehitystä puolukkatyypin kankaalla. Edelleen on tutkittu ojittamattomalla ja ojitetulla tupasvillarämeellä, miten istutuksen yhteydessä suoritettu lannoitus, joko maanpintaan tai istutusrakoon annettuna, vaikuttaa juuriston ensi kehitykseen.

Kaikkiaan on tutkittu 1670 tainta, joista on mitattu pitkäjuurten pituus ja lyhytjuurten lukumäärä sekä verson pituus ja paino. Lyhytjuurista on tehty myös mikrotomileikkeitä.

Tuloksia tarkasteltaessa voidaan todeta, että tupasvillarämeelle istutettujen männyn taimien juuriston ensi kehitys on ollut verraten heikko. Suuri osa sekä pitkä- että lyhytjuurista on kuollut ensimmäisen istutusta seuranneen kasvukauden aikana. Istutusalueella syntyneille lyhytjuurille on ollut ominaista heikko mykoritsamuodostus. Vastaavanlainen kehitys todettiin myös puolukkatyypin kankaalle istutettujen taimien juuristoissa, joskaan

juuriston rakenteen epäedulliset muutokset eivät olleet yhtä voimakkaita kuin tupasvillarämeellä.

Juuriston heikko ensi kehitys tupasvillarämeellä on saattanut osaltaan johtua, paitsi kasvupaikan vähäravinteisuudesta, käytetystä istutusmenetelmästä, joka oli kiilaistutus (vrt. Wibeck 1923, Heikinheimo 1941). Kasvualustan vesitalous on myös voinut olla jossakin määrin epäedullinen juuriston kehityksen kannalta, sillä kuivatusteho oli ojitetullakin tupasvillarämeellä vähäinen.

Tuloksista ilmenee edelleen, ettei maanpintaan annettu laikkulannoitus ole sanottavasti vaikuttanut taimien juuriston rakenteeseen ensimmäisen istutusta seuranneen kasvukauden aikana. Kun lannoituksesta johtuvaa reaktiota ei havaittu versoissakaan, näyttää siltä, että pintalannoitusta käytettäessä ravinteita kulkeutuu ensimmäisen kasvukauden aikana verraten vähän taimien juuriston ulottuville. Tämän kysymyksen selvittämiseksi tarvitaan kuitenkin lisätutkimuksia.

Istutusrakoon annettuna on lannoituksesta ollut varsin nopeasti seurauksena taimien juuriston kehitykselle haitallinen myrkkyvaikutus. Erityisen haitallisia ovat olleet tässä suhteessa typpi ja kali, kun taas pelkän fosforin haittavaikutus on ollut vähäisin.

Saatujen tulosten mukaan tulisi käytännön metsänlannoituksia suoritettaessa välttää lannoitteen joutumista välittömään kosketukseen istutettavan taimen juuriston kanssa. Maanpintaan annettuna ei lannoitus ole vaikuttanut haitallisesti rämeelle istutettuihin 2/1-vuotisiin männyn taimiin melko suurtakin lannoitemäärää (4 000 kg/ha suo-Y-lannosta) käytettäessä. Kun pintalannoituksen edullinen vaikutus näyttää kuitenkin ilmenevän hitaasti, olisi tarpeen tutkia, johtaako esim. maanpinnan muokkaus ja tähän yhdistetty lannoiteaineen sekoitus pintalannoitusta parempaan tulokseen.

Kirjallisuutta

Bergemann, I. 1955. Die Mykorrhizen-Ausbildung einiger Koniferen-Arten in verschiedenen Böden. Zeitschr. f. Weltforstw. 18: 184—195.

Björkman, E. 1942. Über die Bedingungen der Mykorrhizabildung bei Kiefer und Fichte. Symb. Bot. Upsal. 6,2.

—»— 1944. Om skogsplanteringens markbiologiska förutsättningar. Sv. Skogsvårdsf. Tidskr. 333—355.

—»— 1953. Om granens tillväxtsvårigheter efter plantering i nordsvensk skogsmark (Summary: Factors arresting early growth of the spruce after plantation in Northern Sweden). Norrl. Skogsvårdsförb. Tidskr. 285—316.

—»— 1954. Betydelsen av gödsling i skogsträdsplantskolor för plantornas första utveckling i skogsmarken. Särtryck ur Norrlands Skogsvårdsförbunds exkursionsprogram 1954.

Heikinheimo, O. 1940. Metsäpuiden taimien kasvatus taimitarhassa (Referat: Versuche in Baumschulen). Comm. Inst. Forest. Fenn. 29.

—»— 1941. Metsänistutusmenetelmistä (Referat: Versuche mit waldbaulichen Pflanzmethoden). Ibid. 29.

Heikurainen, L. 1954. Rämemänniköiden uudistamisesta paljaaksihakkausta käyttäen (Referat: Über natürliche Verjüngung von Reisermoorkiefernbeständen unter Anwendung von Kahlschlag). Acta Forest. Fenn. 61.

—»— 1955. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen (Referat: Der Wurzelaufbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung). Ibid. 65.

Huikari, O. 1959. On the effect of anaerobic media upon the roots of birch, pine and spruce seedlings (Selostus: Kasvualustan anaerobisuuden vaikutuksesta koivun, männyn ja kuusen taimien juuristoihin). Comm. Inst. Forest. Fenn. 50.

Ladefoged, K. 1939. Untersuchungen über die Periodizität im Ausbruch und Längenwachstum der Wurzeln bei einigen unserer gewöhnlichsten Waldbäumen. Kopenhagen.

Laiho, O. ja Mikola, P. 1964. Studies on the effect of some eradicants on mycorrhizal development in forest nurseries (Selostus: Kasvinsuojeluaineiden vaikutus mykoritsain kehitykseen metsätaimitarhoissa). Acta. Forest. Fenn. 77.

Lukkala, O. J. 1946. Korpimetsien luontainen uudistaminen. (Referat: Die natürliche Verjüngung der Bruchwälder). Comm. Inst. Forest. Fenn. 34.

Melin, E. 1927. Studier över barrträdplantans utveckling i råhumus. II. Mykorrhizans utbildning i olika råhumusformer. (Referat: Studien über die Entwicklung der Nadelbaumpflanze in Rohhumus. II. Die Ausbildung der Mykorrhiza bei der Kiefernpflanze in verschiedenen Rohhumusformen). Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. 23.

Mikola, P. ja Persidsky, J. D. 1951. Detection of mycorrhizal infection in early stages of seedling development. State Cons. Dept. & Soils Dept., Coll. Agr. Madison, Wis., Techn. Not. 39.

—»— ja Laiho, O. 1962. Mycorrhizal relations in the raw humus layer of northern spruce forests. Comm. Inst. Forest. Fenn. 55.

Paavilainen, E. 1963. Tutkimus istutettujen männyn taimien juuriston ensi kehityksestä tupasvillarämeellä ja puolukkatyypin kankaalla. Konekirjoite.

—»— 1966. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämemännikön juurisuhteisiin (Summary: On the effect of drainage on root systems of Scots pine on peat soils). Comm. Inst. Forest. Fenn. 61.

Wibeck, E. 1923. Om missbildning av tallens rotsystem vid spettplantering (Referat: Über Missbildung des Wurzelsystems der Kiefer bei Stieleisenpflanzung). Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. 20.

Initial Development of Root Systems of Scots Pine Transplants in an *Eriophorum vaginatum* Swamp

Summary

Recent developments in draining methods and an increased practice of forest fertilization in Finland have led to increased pine planting in peatland afforestation. To develop the best suited planting method, it is necessary to study the development, not only of the aerial parts of the transplants, but also of the root systems in various environmental conditions.

The main objective of this project is to throw light on the development of root systems of Scots pine transplants in an *Eriophorum vaginatum* swamp during the first growing season after wedge-planting. The effect of fertilization at planting, either spread on the soil surface or placed in the planting hole, on the initial development of the root systems in this site, has also been studied. Measurements of the root systems of transplants planted on a *Vaccinium*-type firm-land site have served in comparing the quality of a nutrient-poor swamp site to a site better suited for planting pine.

The experimental planting has been done in the Pohjois-Satakunta experimental area of the Forest Research Institute. The transplants lifted for measurements have been washed, the total length of the long-roots are expressed to the closest cm-reading, and the short-roots have been counted. A part of the transplants have been measured in 0—5, 5—10 etc. cm vertical zones, starting from the root collar. Microtome sections have been made to study the short-roots.

The results indicate that the initial development of the root systems of the pine transplants has been fairly poor. A large part of the long- and short-roots has died during the first growing season following planting (figures 1 and 2). The short-roots developed in the planted area are characterized by poor mycorrhiza formation. Similar development was also seen in the root systems of the transplants in the *Vaccinium*-type site, but the unfavorable changes in the root system structure were not as large as in the *Eriophorum vaginatum* swamp. No change was seen in the vertical distribution of the roots after planting, even in the undrained swamp (table 1).

Patch fertilization on the soil surface was not found to notably affect structure of the root systems during the first growing season following planting (tables 2—5). Fertilizer placement into the planting hole has resulted in an unfavorable toxic effect on the root system development of the transplants (table 6). Nitrogen and potassium have been especially unfavorable. According to the results obtained, direct contact between the fertilizer and the root system of the transplant should be avoided in planting of pine. Surface applications of fertilizer have no apparent unfavorable effect on the initial development of root systems, even when a fairly large dose (4000 kg/ha mixed 14—18—10 fertilizer) is used.

HAVUSAHATUKKIEN LATVAMUOTOLUVUT

PAAVO ARO JA PENTTI RIKKONEN

TOP FORM FACTORS OF SOFTWOOD SAW LOGS

Summary

HELSINKI 1966

Helsinki 1966. Valtioneuvoston kirjapaino

Alkusanat

Havusahatukkien teknillisten kiintomittain muuntamisessa todellisiksi kiintomitoiksi on vuodesta 1929 lähtien ollut käytettävissä Keskusmetsäseura Tapion julkaisemaan »Kiintomittataulukkoja»-nimiseen kirjaan sisältyvät latvamuotolukuja ja todellisia kuutiomääriä sisältävien taulukkojen luvut. Kun kuitenkin tukkihakkuiden kohteeksi on viime vuosien aikana tullut toisenlaisia metsiä kuin aikaisemmin ja tukkien ominaisuudet tästä syystä myöskin muuttuneet, pidettiin metsäntutkimuslaitoksessa tarpeellisena tarkistaa mainitut latvamuotoluvut.

Tutkimusta varten kerättiin aineistoa ympäri maata eri sahalaitoksien varastoista. Pääosa Etelä-Suomen aineistosta kerättiin kesällä 1962 ja Pohjois-Suomen aineisto kokonaan kesällä 1963. Aineiston keräämisessä toimivat mittausryhmien johtajina metsänhoitaja E r k k i M ä k e l ä ja maat.metsät. maisteri S v e n - E r i k A p p e l r o t h.

Aineiston käsittelyssä ja tutkimustulosten laskemisessa on avustanut metsänhoitaja M a r t i n H e l a n d e r. Metsätieteiden lisensiaatit P e n t t i N i s u l a ja P e n t t i H a k k i l a ovat tutkimustulosten käsittelyssä antaneet arvokkaita tietoja ja neuvoja.

Kaikille näille henkilöille sekä lisäksi erikoisesti niille monille sahalaitoksille, joiden varastoilla tutkimuksia suoritettiin ja jotka monella tavoin avustivat aineiston keräämisessä ja siihen liittyvissä tehtävissä, pyydämme esittää parhaat kiitoksemme. Suuresti kiitollisia olemme myöskin Valtion maatalous-metsätieteelliselle toimikunnalle, joka osallistui tutkimuksen rahoittamiseen.

Helsingissä helmikuun 14 päivänä 1966

P a a v o A r o P e n t t i R i k k o n e n

Sisällysluettelo

Sivu

1. Johdanto 7
2. Aineisto 9
   21. Mittaukset ja arvioinnit 9
   22. Aineiston määrä ja tyvitukkien osuus 10
   23. Sahalaitoksilla sahattujen tukkien ja tutkimusaineiston keskipituudet, keskikuutiot ja suuruusluokkajakautumat 16
   24. Tutkimusaineiston mittauspaikat ja alueittainen edustavuus 24
3. Tutkimustulokset 29
   31. Kapeneminen 29
   32. Latvamuotoluvut (Liitetaulukot 1—18) 33
      321. Latvamuotolukusarjojen laatimisesta ja niiden rakenteesta 33
      322. Latvamuotolukujen vertailu Kiintomittataulukoiden (1929) latvamuotolukuihin 36
      323. Latvamuotolukujen avulla saatu todellinen kiintomitta verrattuna mittausten mukaiseen todelliseen kiintomittaan 38
      324. Taulukoiden käytöstä ja niiden luotettavuudesta 40
   33. Latvamuotoluvun ja laadun välinen riippuvuus 42
   34. Tarkan kiintomitan ja todellisen kiintomitan välinen ero 45
   35. Tasausvaran pituus 49

Kirjallisuusluettelo 51

Summary 52

Liitetaulukot 57

1. Johdanto

Suomessa käytössä olevat Keskusmetsäseura Tapion toimesta julkaistut latvamuotoluku- ja kiintomittataulukot ovat peräisin vuodelta 1929. On syytä olettaa, että nykyään hakattavan tukkipuuston ikä ja järeys ovat toiset kuin runsaat 30 vuotta sitten. Kun myös tukkien apteeraus on pienentyneiden keskipituus- ja minimiläpimittavaatimusten sekä laadun tarkemman huomioimisen ansiosta muuttunut, on näinollen katsottu, etteivät käytössä olevat latvamuotoluvut ja niihin perustuvat kiintomittaluvut enää vastaa sahatukkien muotoa.

Vuonna 1959 asetettu, professori Paavo Aron johdolla toiminut Puutavaranmittauskomitea on mietinnössään vuodelta 1965 katsonut, että pyöreän puun todellinen kiintomitta määritetään puun keskikohdan poikkileikkauspinta-alan ja pituuden tulona. Käytössä olevien taulukoiden perustuessa pätkittäiseen kiintomitan määrittämiseen oli uusien taulukoiden laatimiseen aihetta myös tästä syystä. Korostettakoon jo tässä yhteydessä, että tässä tutkimuksessa käsite »todellinen kiintomitta» tarkoittaa juuri ensin mainitulla tavalla määriteltyä kiintomittaa.

Käytössä olevat kiintomittataulukoiden latvamuotoluvut ilmaisevat pätkittäin mitatun kiintomitan suhdetta teknilliseen kiintomittaan, jolloin jälkimmäinen on laskettu täsmällisen latvaläpimitan ja täsmällisen pituuden perusteella. Koska todellista kiintomittaa laskettaessa kuitenkin vakiintuneen tavan mukaan käytetään nimellisiä mittoja, joudutaan näin laskettuja taulukkolukuja käytettäessä käyttämään tasausvarasta ja läpimitan alaspäin pyöristyksistä johtuvia korjauskertoimia.

Tässä tutkimuksessa latvamuotoluvut esitetään kuorettoman todellisen kiintomitan suhteena nimellistä latvaläpimittaa ja nimellistä pituutta vastaavaan kuorettomaan tekniliseen kiintomittaan. Tasausvaran pituutena todellista kiintomittaa laskettaessa on käytetty viittä tuumaa, joka tutkimuksessa todettiin likimääräiseksi tasausvaran pituudeksi nimellisen latvaläpimitan vastatessa Englannin mittajärjestelmän mukaisissa taulukoissa ½ tuuman ja metrijärjestelmän mukaisissa taulukoissa 2 cm:n alaspäin pyöristämistä. Kyseisiä latvamuotolukuja käytettäessä ei siis tarvita läpimittaluokituksesta ja tasausvarasta aiheutuvia korjaustekijöitä, mikäli tukit, joiden todellista kiintomittaa lasketaan, on mitattu vastaavaa läpimittaluokitusta

käyttäen, ja mikäli keskimääräisen tasausvaran katsotaan lähentelevän mainittua pituutta. Poikkeuksellista mittausta, läpimittaluokitusta ja tasausvaran pituutta varten on esitetty muutamia korjaustekijätaulukoita. (Liitetaulukot 19—22).

Latvamuotolukutaulukot (Liitetaulukot 1—18) sisältävät tyvitukkien ja kaikkien tukkien taulukot sekä Englannin mittajärjestelmän että metrijärjestelmän mukaisina erikseen Etelä- ja Pohjois-Suomelle sekä väli-latvatukkien Englannin mittajärjestelmän mukaiset taulukot Etelä-Suomea varten.

Koska tukin keskikohdan läpimittaan perustuvia latvamuotolukuja voidaan pitää keskikohdan ja latvan välisen kapenemisen funktioina, on kyseistä kapenemista tutkittu, jolloin on saatu tukea muotolukusarjojen laadinnalle. Kapenemistarkastelua on laajennettu myös tyven ja keskikohdan väliseen kapenemiseen, jolloin on saatu valaistusta koko tukin muodosta.

Keskikohdan läpimittaan perustuvan todellisen kiintomitan suhdetta »tarkkaan kiintomittaan» on katsottu myös aiheelliseksi selvittää, jolloin jälkimmäisellä tarkoitetaan mahdollisimman tarkoin mitattua tukin todellista tilavuutta. Niinikään on selvitetty laadun ja muodon välistä riippuvuutta sekä tasausvaraan liittyviä kysymyksiä.

Tutkimusaineistoa ei keräystapansa vuoksi ole voitu käyttää aineiston keräämisvuosina hakattujen tai sahattujen tukkimäärien suuruustunnusten ja suuruusluokkajakautuman selvittämiseen. Nämä tiedot ovat kuitenkin jossain määrin tutkimuksen kannalta tarpeen. Koska näillä tiedoilla on lisäksi laajempaakin merkitystä, on niitä tässä tutkimuksessa selvitetty erikseen hankitulla aineistolla.

2. Aineisto

21. Mittaukset ja arvioinnit

Aineistoon kerätyistä tukeista suoritettiin seuraavat mittaukset

— Pituus täyttävinä jalkoina ja tasausvara puolen tuuman tarkkuudella tasaavasti.

— Kuorettomat läpimitat 1 mm tarkkuudella (Kuorellisista tukeista mitattiin kuoren paksuus 1 mm tarkkuudella läpimittain mittauskohdista.)

— Kaikista pölkyistä keskeltä.

— Etelä-Suomen aineiston tyvipölkyistä tyvipaisuman alkamiskohdasta; Pohjois-Suomen aineiston tyvipölkyistä 65 cm:n etäisyydeltä tyvileikkauksesta; koko aineiston väli-latvatukeista puolen tasausvaran etäisyydeltä tyvileikkauksesta.

— Kaikista tukeista puolen tasausvaran etäisyydeltä latvaleikkauksesta.

— Noin joka kymmenennestä kuorettomasta tyvitukista 0, 5, 25, 50, 100, 150 cm:n etäisyydeltä tyvileikkauksesta. (Näitä tukkeja nimitetään jäljempänä »koetyviksi»).

Mikäli mittausolosuhteet sallivat, arvioitiin tukkien laatuluokat v. 1960 julkaistun laatuluokitusehdotuksen (H e i s k a n e n ja S i i m e s) mukaisesti. Mittausolosuhteista johtuen ei kuitenkaan kaikkien aineiston tukkien laatuluokkaa voitu arvioida.

Pituus ja tasausvara mitattiin teräsmittanauhalla katkaisupintojen välisenä etäisyytenä eteen sattuvalta puolelta. Vesennepintaa ei tällöin katsottu katkaisupinnaksi, vaan vesenteen kohdalla mittaus suoritettiin sahauspinnan jatketusta tasosta.

Läpimitat mitattiin mittasaksilla eteen sattuvalta puolelta. Ristiinmittauksella olisi vältetty virhe, joka syntyy puun asettumisesta mittausalustalle niin, että se »makaa» latteammalla puolellaan. Kun kuitenkin katsottiin, että kyseinen virhe vaikuttaa kiintomittain suhteisiin varsin vähän, ei ristimittausta suoritettu. Toisaalta ristimittaus olisi ratkaisevasti hidastanut aineiston keruuta, koska mittaukset jouduttiin suorittamaan pääosaltaan vedessä.

Mikäli keskusläpimitan tai tyviläpimitan mittauskohtaan sattui oksapaisuma tai muu paksunnos, etsittiin mittauskohdan eri puolilta siitä yhtä kaukana olevat kohdat, joissa kyseinen paksunnos ei enää vaikuttanut läpimittaan, ja määrättiin läpimitta näiden kohtien läpimittain keskiarvona. Väli-latvatukkien tyviläpimittaa mitattaessa voitiin näin menetellä kuitenkin vain silloin kun tasausvara oli pitkä ja paksunnos pieni. Muissa tapauksissa mittakohtaa siirrettiin latvaan päin kohtaan, jossa paksunnoksen vaikutus loppui.

Paksunnoksen sattuessa latvaläpimitan mittauskohtaan siirrettiin mittauskohtaa vastaavasti tyveen päin niin, ettei paksunnos enää vaikuttanut läpimittaan.

Tyviläpimitan mittauskohdan eroavuus tyvitukeilla Etelä- ja Pohjois-Suomen aineistojen välillä johtuu siitä, että tyvipaisuman alkamiskohta mittauskohdan määrittämisperusteena osoittautui aikaisemmin mitatussa Etelä-Suomen aineistossa siinä määrin epämääräiseksi, että nähtiin aiheelliseksi muuttaa se kiinteästi määrätyksi, kun Pohjois-Suomen aineistoa ruvettiin keräämään.

22. Aineiston määrä ja tyvitukkien osuus

Aineiston tukkien kappaleittainen jakautuminen eri suuruusluokkiin on esitetty taulukoissa 1—4. Suuruusluokkiin jakautumista käsitellään varsinaisesti seuraavassa luvussa teknillisen kiintomitan jakautumisen muodossa. Tässä yhteydessä todettakoon, että kappalejakautuman painopisteet asettuvat pituusluokituksessa n. 16 jalan ja latvaläpimittaluokituksessa n. 7″ kohdalle. Aineisto hajaantuu kuitenkin käsittämään laitimmaisiakin suuruusluokkia, mutta on näiden kohdalla varsin niukka.

Aineistoa mitattaessa pyrittiin tyvitukit erottamaan muista tukeista mahdollisimman tarkoin. Varsinkin Pohjois-Suomen aineistossa oli huomattavasti suoritettu tyveyksiä. Tyvetyiksi todetut tukit sisällytettiin tyvitukkiaineistoon. Ilmeistä kuitenkin on, että näitä joutui osa myös väli-latvatukkeihin, koska oli mahdotonta kaikissa tapauksissa varmuudella ratkaista, oliko kysymyksessä tyvetty tyvitukki vai väli-latvatukki.

Etelä-Suomen aineistossa kuusi- ja mäntytukkien tyvitukkisadannekset ovat suunnilleen samansuuruiset (Taulukko 5). Pohjois-Suomen aineistossa sensijaan sadannekset ovat kuusitukeilla suuremmat.

Koko aineistolle laskettuja tyvitukkisadanneksia on pidettävä jokaisessa puulaji-aineistossa suurina, mikä johtuu ennen kaikkea siitä, että järeät läpimittaluokat ovat suhteellisen runsaasti edustettuina. Tämä voidaan todeta seuraavassa luvussa esitettävästä taulukosta 9, mistä havaitaan, että järeiden tukkien osuudet ovat tutkimusaineistossa huomattavasti suuremmat kuin käytännön aineistossa.

Taulukko 1. Mäntytukkien jakautuminen suuruusluokkiin Etelä-Suomen aineistossa.
Table 1. The distribution of pine logs by size classes in the material from southern Finland.

Dl″ *Dt″*	Tukkilaji *Log type*	Pituus, jalkaa *Length, feet*											%
		10—12	13	14	15	16	17	18	19	20	21—23	Yht. *Total*	
		Tukkeja, kpl — *Number of logs*											
4— 4½	[1]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	[2]	13	8	19	14	5	5	4	1	1	—	70	1.9
	[3]	13	8	19	14	5	5	4	1	1	—	70	0.8
5— 5½	[1]	8	2	16	30	27	15	17	10	8	10	143	3.0
	[2]	44	28	255	161	151	89	59	15	9	4	815	22.6
	[3]	52	30	271	191	178	104	76	25	17	14	958	11.3
6— 6½	[1]	26	21	66	80	89	53	90	33	26	25	509	10.5
	[2]	67	46	202	181	221	100	91	30	21	9	968	26.8
	[3]	93	67	268	261	310	153	181	63	47	34	1 477	17.5
7— 7½	[1]	86	46	156	163	204	144	161	84	39	38	1 121	23.3
	[2]	93	82	194	147	179	86	65	14	10	7	877	24.2
	[3]	179	128	350	310	383	230	226	98	49	45	1 998	23.8
8— 8½	[1]	95	53	120	145	223	120	176	68	65	46	1 111	23.0
	[2]	80	41	87	68	74	56	42	13	3	4	468	12.9
	[3]	175	94	207	213	297	176	218	81	68	50	1 579	18.7
9— 9½	[1]	84	32	87	86	141	103	125	53	42	35	788	16.3
	[2]	47	27	42	40	47	25	16	8	5	1	258	7.1
	[3]	131	59	129	126	188	128	141	61	47	36	1 046	12.4
10—10½	[1]	56	18	51	52	106	71	88	32	24	18	516	10.7
	[2]	17	6	16	24	12	10	5	2	1	—	93	2.6
	[3]	73	24	67	76	118	81	93	34	25	18	609	7.2
11—11½	[1]	27	9	41	43	74	46	48	12	15	7	322	6.7
	[2]	8	2	6	5	8	3	2	1	—	—	35	1.0
	[3]	35	11	47	48	82	49	50	13	15	7	357	4.2
12—12½	[1]	14	3	29	25	56	19	23	12	6	5	192	4.0
	[2]	5	3	3	4	3	1	—	1	—	—	20	0.6
	[3]	19	6	32	29	59	20	23	13	6	5	212	2.5
13—13½	[1]	9	5	10	16	25	13	8	1	2	5	94	1.9
	[2]	1	1	2	1	2	—	1	—	—	—	8	0.2
	[3]	10	6	12	17	27	13	9	1	2	5	102	1.2
≥14	[1]	6	2	2	5	4	6	3	1	2	—	31	0.6
	[2]	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	2	0.1
	[3]	6	2	2	7	4	6	3	1	2	—	33	0.4
Yht. *Total*	[1]	411	191	578	645	949	590	739	306	229	189	4 827	100.0
	[2]	375	244	826	647	702	375	285	85	50	25	3 614	100.0
	[3]	786	435	1 404	1 292	1 651	965	1 024	391	279	214	8 441	100.0
%	[1]	8.5	4.0	12.0	13.4	19.7	12.2	15.3	6.3	4.7	3.9		100.0
	[2]	10.4	6.8	22.8	17.8	19.4	10.4	7.9	2.4	1.4	0.7		100.0
	[3]	9.3	5.2	16.7	15.3	19.6	11.4	12.1	4.6	3.3	2.5		100.0

[1] Tyvitukit — *Butt logs.*
[2] Väli-latvatukit — *Middle and top logs.*
[3] Kaikki tukit — *All logs.*

Taulukko 2. Kuusitukkien jakautuminen suuruusluokkiin Etelä-Suomen aineistossa.
Table 2. The distribution of spruce logs by size classes in the material from southern Finland.

D_1'' D_t''	Tukkilaji *Log type*	Pituus, jalkaa — *Length, feet*											
		10—12	13	14	15	16	17	18	19	20	21—23	Yht. *Total*	%
		Tukkeja, kpl — *Number of logs*											
4— 4½	1)	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	1	0.0
	2)	11	16	30	11	6	3	2	—	—	—	79	2.1
	3)	11	16	31	11	6	3	2	—	—	—	80	0.9
5— 5½	1)	—	1	10	15	20	11	10	2	5	2	76	1.5
	2)	27	82	181	146	152	53	71	21	20	9	762	20.4
	3)	27	83	191	161	172	64	81	23	25	11	838	9.7
6— 6½	1)	5	13	52	75	120	88	117	48	57	80	655	13.3
	2)	15	42	187	188	280	131	101	31	31	11	1 017	27.2
	3)	20	55	239	263	400	219	218	79	88	91	1 672	19.3
7— 7½	1)	16	42	103	128	236	163	179	78	83	92	1 120	22.8
	2)	42	53	163	164	184	106	77	16	13	8	826	22.1
	3)	58	95	266	292	420	269	256	94	96	100	1 946	22.4
8— 8½	1)	42	24	110	156	210	165	177	72	91	89	1 136	23.0
	2)	52	23	112	110	105	67	56	14	10	3	552	14.7
	3)	94	47	222	266	315	232	233	86	101	92	1 688	19.4
9— 9½	1)	33	24	87	100	169	113	126	58	45	45	800	16.2
	2)	22	20	44	53	60	32	21	11	5	2	270	7.2
	3)	55	44	131	153	229	145	147	69	50	47	1 070	12.3
10—10½	1)	17	11	51	73	123	105	90	31	21	21	543	11.0
	2)	12	8	26	29	32	23	10	4	1	—	145	3.9
	3)	29	19	77	102	155	128	100	35	22	21	688	7.9
11—11½	1)	12	5	23	50	87	43	32	9	15	7	283	5.7
	2)	5	4	10	8	15	10	7	—	—	—	59	1.6
	3)	17	9	33	58	102	53	39	9	15	7	342	3.9
12—12½	1)	7	7	28	37	43	23	24	10	8	4	191	3.9
	2)	2	1	2	5	5	4	1	—	—	—	20	0.5
	3)	9	8	30	42	48	27	25	10	8	4	211	2.4
13—13½	1)	4	3	13	12	16	13	9	3	4	—	77	1.6
	2)	—	1	1	2	1	2	—	1	—	—	8	0.2
	3)	4	4	14	14	17	15	9	4	4	—	85	1.0
≥14	1)	2	—	8	4	9	14	11	4	2	1	55	1.1
	2)	—	1	—	—	1	1	1	—	—	—	4	0.1
	3)	2	1	8	4	10	15	12	4	2	1	59	0.7
Yht. *Total*	1)	138	130	486	650	1 033	738	776	315	331	341	4 938	100.0
	2)	188	251	756	716	841	432	346	98	80	33	3 741	100.0
	3)	326	381	1 242	1 366	1 874	1 170	1 122	413	411	374	8 679	100.0
%	1)	2.8	2.6	9.8	13.3	20.9	14.9	15.7	6.4	6.7	6.9		100.0
	2)	5.0	6.7	20.2	19.2	22.6	11.5	9.2	2.6	2.1	0.9		100.0
	3)	3.8	4.4	14.3	15.7	21.6	13.5	12.9	4.8	4.7	4.3		100.0

1) Tyvitukit — *Butt logs.*
2) Väli-latvatukit — *Middle and top logs.*
3) Kaikki tukit — *All logs.*

Taulukko 3. Mäntytukkien jakautuminen suuruusluokkiin Pohjois-Suomen aineistossa.

Table 3. The distribution of pine logs by size classes in the material from northern Finland.

D_1'' D_f''	Tukkilaji *Log type*	Pituus, jalkaa — *Length, feet*											%
		10—12	13	14	15	16	17	18	19	20	21—23	Yht. *Total*	
		Tukkeja, kpl — *Number of logs*											
4— 4½	1)	—	—	—	2	2	2	1	2	—	—	9	0.2
	2)	—	—	1	3	1	1	1	—	—	—	7	0.3
	3)	—	—	1	5	3	3	2	2	—	—	16	0.2
5— 5½	1)	1	2	5	27	79	37	40	7	11	9	218	4.8
	2)	1	4	27	85	98	28	11	1	3	—	258	12.3
	3)	2	6	32	112	177	65	51	8	14	9	476	7.1
6— 6½	1)	6	4	27	65	144	72	92	23	16	24	473	10.4
	2)	5	11	81	121	148	48	30	2	2	1	449	21.4
	3)	11	15	108	186	292	120	122	35	18	25	922	13.8
7— 7½	1)	21	26	89	95	167	90	91	34	31	23	667	14.6
	2)	23	33	92	91	103	35	23	5	3	1	409	19.4
	3)	44	59	181	186	270	125	114	39	34	24	1 076	16.1
8— 8½	1)	31	45	122	112	150	110	80	25	27	12	714	15.6
	2)	40	35	77	44	54	19	20	5	3	—	297	14.1
	3)	71	80	199	156	204	129	100	30	30	12	1 011	15.2
9— 9½	1)	48	41	122	121	135	97	90	21	19	9	703	15.3
	2)	54	35	53	37	23	14	10	1	—	—	227	10.8
	3)	102	76	175	158	158	111	100	22	19	9	930	14.0
10—10½	1)	65	65	128	103	147	79	76	32	15	4	714	15.7
	2)	40	31	42	25	21	3	3	—	—	1	165	7.8
	3)	105	96	170	128	168	82	79	32	15	5	879	13.2
11—11½	1)	49	35	83	66	59	41	41	11	9	8	402	8.8
	2)	38	16	29	11	15	5	3	—	—	—	117	5.6
	3)	87	51	112	77	74	46	44	11	9	8	519	7.8
12—12½	1)	34	22	44	47	47	16	46	6	7	4	273	6.0
	2)	35	9	16	7	9	1	2	1	—	—	80	3.8
	3)	69	31	60	54	56	17	48	7	7	4	353	5.3
13—13½	1)	19	15	20	17	25	13	13	2	2	—	126	2.8
	2)	11	3	9	2	7	—	—	—	—	—	32	1.5
	3)	30	18	29	19	32	13	13	2	2	—	158	2.4
≥14	1)	52	27	41	45	38	27	18	8	4	2	263	5.8
	2)	25	9	16	4	5	3	1	—	—	—	63	3.0
	3)	78	36	57	49	43	30	19	8	4	2	326	4.9
Yht. *Total*	1)	326	282	681	700	993	584	588	171	141	95	4 561	100.0
	2)	272	186	443	430	484	157	104	15	11	3	2 105	100.0
	3)	598	468	1 124	1 130	1 477	741	692	186	152	98	6 666	100.0
%	1)	7.1	6.2	14.9	15.3	21.9	12.8	12.9	3.7	3.1	2.1		100.0
	2)	12.9	8.8	21.1	20.5	23.0	7.5	4.9	0.7	0.5	0.1		100.0
	3)	9.0	7.0	16.8	17.0	22.1	11.1	10.4	2.8	2.3	1.5		100.0

[1]) Tyvitukit — *Butt logs.*
[2]) Väli-latvatukit — *Middle and top logs.*
[3]) Kaikki tukit — *All logs.*

Taulukko 4. Kuusitukkien jakautuminen suuruusluokkiin Pohjois-Suomen aineistossa.

Table 4. The distribution of spruce logs by size classes in the material from northern Finland.

D_1'' D_t''	Tukkilaji *Log type*	Pituus, jalkaa — *Length, feet*											%
		10—12	13	14	15	16	17	18	19	20	21—23	Yht. *Total*	
		Tukkeja, kpl — *Number of logs*											
4— 4½	[1]	—	2	3	2	1	2	1	—	—	—	11	0.3
	[2]	1	15	14	3	—	1	1	—	—	—	35	2.6
	[3]	1	17	17	5	1	3	2	—	—	—	46	0.8
5— 5½	[1]	1	14	34	20	69	19	16	—	3	—	176	4.3
	[2]	1	26	45	13	114	16	6	—	—	—	221	16.2
	[3]	2	40	79	33	183	35	22	—	3	—	397	7.3
6— 6½	[1]	1	33	29	66	290	128	124	23	30	10	734	18.1
	[2]	2	37	36	56	287	26	27	6	—	1	478	35.0
	[3]	3	70	65	122	577	154	151	29	30	11	1 212	22.4
7— 7½	[1]	4	36	48	92	227	141	178	41	29	12	808	20.1
	[2]	2	9	27	35	88	29	26	3	3	1	223	16.2
	[3]	6	45	75	127	315	170	204	44	32	13	1 031	19.0
8— 8½	[1]	16	52	92	104	186	109	120	30	21	8	738	18.2
	[2]	6	15	29	19	30	15	11	4	2	—	131	9.6
	[3]	22	67	121	123	216	124	131	34	23	8	869	16.1
9— 9½	[1]	32	48	120	104	133	79	75	19	12	9	631	15.6
	[2]	4	10	30	20	29	14	11	1	1	—	120	8.8
	[3]	36	58	150	124	162	93	86	20	13	9	751	13.9
10—10½	[1]	26	31	81	81	71	47	41	13	7	2	400	9.9
	[2]	6	6	19	14	11	5	5	1	—	—	67	4.9
	[3]	32	37	100	95	82	52	46	14	7	2	467	8.6
11—11½	[1]	24	15	57	65	55	32	27	4	3	1	283	7.0
	[2]	6	7	14	7	7	3	4	1	1	—	50	3.7
	[3]	30	22	71	72	62	35	31	5	4	1	333	6.2
12—12½	[1]	9	13	48	27	30	22	20	4	3	4	180	4.4
	[2]	6	4	6	6	3	1	—	—	1	—	27	2.0
	[3]	15	17	54	33	33	23	20	4	4	4	207	3.8
13—13½	[1]	10	7	21	10	12	8	9	3	—	2	82	2.0
	[2]	—	2	3	5	2	1	—	—	—	—	13	1.0
	[3]	10	9	24	15	14	9	9	3	—	2	95	1.8
≥14	[1]	—	—	—	—	—	—	—	1	4	—	5	0.1
	[2]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	[3]	—	—	—	—	—	—	—	1	4	—	5	0.1
Yht. *Total*	[1]	123	251	533	571	1 074	587	611	138	112	48	4 048	100.0
	[2]	34	131	223	178	571	111	91	16	8	2	1 365	100.0
	[3]	157	382	756	749	1 645	698	702	154	120	50	5 413	100.0
%	[1]	3.0	6.2	13.2	14.1	26.5	14.5	15.1	3.4	2.8	1.2		100.0
	[2]	2.5	9.6	16.3	13.0	41.9	8.1	6.7	1.2	0.6	0.1		100.0
	[3]	2.9	7.1	14.0	13.8	30.4	12.9	13.0	2.8	2.2	0.9		100.0

[1] Tyvitukit — *Butt logs.*
[2] Väli-latvatukit — *Middle and top logs.*
[3] Kaikki tukit — *All logs.*

Taulukko 5. Tyvitukkisadannekset.
Table 5. Butt log persentages.

Aineisto *Material*	D_1'' D_t''	Pituus, jalkaa — *Length, feet*						
		10—12	13—14	15—16	17—18	19—20	21—23	10—23
		Tyvitukkeja, % — *Butt logs, %*						
Etelä-Suomi	4— $5^1/_2$	12	5	15	17	41	71	14
South Finland	6— $7^1/_2$	41	36	42	57	71	80	47
Mänty — *Pine*	8— $9^1/_2$	58	60	72	70	89	94	72
	10—$11^1/_2$	77	80	85	93	95	100	87
	12—$13^1/_2$	79	84	92	97	95	100	91
	14—$15^1/_2$	100	100	82	100	100	—	94
	4—$15^1/_2$	52	42	54	67	80	88	57
Etelä-Suomi	4— $5^1/_2$	—	4	10	14	11	18	8
South Finland	6— $7^1/_2$	27	32	41	57	75	90	49
Kuusi — *Spruce*	8— $9^1/_2$	50	55	66	77	87	96	70
	10—$11^1/_2$	63	65	80	84	94	100	80
	12—$13^1/_2$	85	91	89	91	96	100	91
	14—$15^1/_2$	100	89	93	93	100	100	93
	4—$15^1/_2$	42	38	52	66	74	91	57
Pohjois-Suomi	4— $5^1/_2$	50	18	37	66	83	100	46
North Finland	6— $7^1/_2$	49	40	50	72	90	96	57
Mänty — *Pine*	8— $9^1/_2$	46	62	77	86	91	100	73
	10—$11^1/_2$	59	73	84	94	100	92	80
	12—$13^1/_2$	54	73	84	97	94	100	78
	14—$15^1/_2$	67	73	90	92	100	100	80
	4—$15^1/_2$	54	60	65	82	92	97	68
Pohjois-Suomi	4— $5^1/_2$	33	35	41	61	100	—	42
North Finland	6— $7^1/_2$	56	57	59	84	91	92	69
Kuusi — *Spruce*	8— $9^1/_2$	83	79	84	88	91	100	85
	10—$11^1/_2$	81	80	87	90	90	100	85
	12—$13^1/_2$	76	86	83	97	91	100	87
	14—$15^1/_2$	—	—	—	—	100	—	100
	4—$15^1/_2$	78	69	69	86	91	96	75

Sitä mukaa kuin pituus ja latvaläpimitta suurenevat, myös tyvitukkien osuus kasvaa. Pohjois-Suomen aineistossa, jossa tyvitukkien osuus on suurempi kuin Etelä-Suomen aineistossa, on myös pieniläpimittaisissa tukeissa suhteellisen runsaasti tyvitukkeja.

23. Sahalaitoksilla sahattujen tukkien ja tutkimusaineiston keskipituudet, keskikuutiot ja suuruusluokkajakautumat

Koska latvamuotolukutaulukot oli päätetty laatia latvaläpimitan ja pituuden mukaan lajitellulle aineistolle, pyrittiin aineistoa keräämään siten, että kaikki käytännössä esiintyvät latvaläpimitta- ja pituusluokat olisivat olleet siinä edustettuina. Tarkoituksena oli, että laitimmaisiinkin luokkiin kuuluvia tukkeja olisi saatu aineistoon mahdollisimman paljon. Pyrkimyksenä ei siis ollut kerätä sellaista aineistoa, jonka suuruusluokkajakautuma olisi edustanut tukkien yleistä suuruusluokkajakautumaa. Tiedot tukkien jakautumisesta suuruusluokkiin ovat tutkimuksen kannalta tarpeen lähinnä tarkasteltaessa, mitkä taulukoiden luvut ovat käytössä tärkeimmät ja mikä merkitys on esim. taulukoiden laitaosien luvuilla. Kun kyseisillä tiedoilla on kuitenkin merkitystä myös tutkimuksen ulkopuolella, tehtiin yritys niiden hankkimiseksi. Seitsemältäkymmeneltäviideltä sahalaitokselta pyydettiin läpimitta- ja pituusjakautumaa osoittavat luettelot vuoden aikana sahatuista tukeista. 35:ltä sahalta saatiinkin käyttökelpoiset tiedot latvaläpimittajakautumasta. Kaikki mainitut 35 sahaa ilmoittivat myös tukkien keskikuution ja keskipituuden ja näistä 24 kyseiset tunnukset latvaläpimittaluokittain. Pääosa lähetetyistä luetteloista koskee kalenterivuoden 1964 sahausta. Pienempi osa luetteloista käsittää sahauskaudella 1963—1964 sahattuja tukkeja.

Tutkimusaineistoon sisältyvistä Etelä-Suomen mäntytukeista on mitattu noin kolmannes ja kuusitukeista noin puolet edellämainittujen 35:n sahan

Taulukko 6. Latvaläpimittajakautuman ilmoittaneiden sahojen tukkien jakautuminen sahojen koon ja sijaintialueen mukaan.

Table 6. Distribution of the logs of sawmills reporting the top diameter distribution, by the sawmill size and location.

Alue *District*	Sahoja, kpl *Number of sawmills*	Vuosituotanto, std *Annual output, stds*	Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*
			% kuutiojalkamäärästä *% of number of cu. ft.*	
Länsi-Suomi — *West Finland*	4	> 10 000	18.2	47.9
	8	≦ 10 000	9.5	17.1
Itä-Suomi — *East Finland*	7	> 10 000	58.1	22.7
	8	≦ 10 000	14.2	12.3
Yhteensä E—S. — *Total South Finland*	27		100.0	100.0
Pohjois-Suomi — *North Finland*	4	> 10 000	81.4	79.0
	4	≦ 10 000	18.6	21.0
Yhteensä P—S. — *Total North Finland*	8		100.0	100.0

Taulukko 7. Pituusjakautuman ilmoittaneiden sahojen tukkien jakautuminen sahojen koon ja sijaintialueen mukaan.

Table 7. Distribution of the logs of sawmills reporting the length distribution by the sawmill size and location.

Alue *District*	Sahoja, kpl *Number of sawmills*	Vuosituotanto, std *Annual output, stds*	Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*
			% juoksujalkamäärästä *% of number of running feet*	
Länsi-Suomi — *West Finland*	1	> 10 000	18.9	26.7
	2	≦ 10 000	12.3	16.4
Itä-Suomi — *East Finland*	2	> 10 000	44.3	22.8
	5	≦ 10 000	24.5	34.1
Yhteensä E—S. — *Total South Finland*	10		100.0	100.0
Pohjois-Suomi — *North Finland*	1	> 10 000	100.0	100.0

joukkoon kuuluvilla sahoilla. Pohjois-Suomen aineistossa vastaava osuus on noin kolme neljännestä. Tutkimusaineisto ja sahoilta saatu näyte, jota kutsutaan »käytännön aineistoksi», ovat siis osittain samaa perusaineistoa.

Taulukot 6—7 esittävät käytännön aineiston jakautumisen aluejaon ja sahojen koon mukaisesti. Etelä-Suomen jako Länsi- ja Itä-Suomeen on tehty Päijänne-linjan mukaisesti arvioimalla, kummalla puolen Päijänteen kautta kulkevaa pohjois-etelä suuntaista linjaa sahojen hankinta-alueet pääasiassa sijaitsevat. Sahojen suuruuden mukainen jako on tehty niiden ilmoittamien vuosituotantomäärien mukaisesti.

Aluerajan epämääräisyyden takia ja tästä johtuvan raaka-ainetilastojen vertailumahdollisuuden puuttumisen vuoksi on vaikeata sanoa, missä määrin Etelä-Suomen aineiston jakaantuminen Länsi- ja Itä-Suomen kesken vastaa kaikkien tällä alueella sahattavien tukkien jakaantumista. Joka tapauksessa molemmat alueet ovat edustettuina ja on todennäköistä, että näyte kuitenkin tyydyttävästi edustaa Etelä-Suomen eri alueita. Eri suuruisia sahoja näyte sensijaan edustaa ilmeisen heikosti ainakin Etelä-Suomen osalta. Rinkisen mukaan oli v. 1958 ≦ 10 000 std vuosituotannon omaavien sahojen osuus koko maassa sahatavaran tuotoksesta 41 %. Kyseistä suuruusryhmää vastaa taulukoissa likimäärin suurempien sahojen ryhmä, jonka osuus sahattavien tukkien kuutiojalkamäärästä latvaläpimittajakautuman ilmoittaneilla sahoilla on noin 70—75 % Etelä-Suomen aineistossa ja sitäkin suurempi Pohjois-Suomen aineistossa. Myös pituusjakautuman käsittävässä näytteen osassa tämän ryhmän osuus on liian

Taulukko 8. Sahattujen tukkien määrät, keskikuutiot ja keskipituudet latvaläpimittajakautuman ilmoittaneilla sahoilla.

Table 8. Number, mean volumes and mean lengths of sawn logs at sawmills reporting the top diameter distribution.

Tukkeja 1 000 kpl *Logs 1 000 units*	Keskikuutio *Mean volume* j³—*cu.ft.*	Keskipituus *Mean length* j—*ft.*	Tukkeja 1 000 kpl *Logs 1 000 units*	Keskikuutio *Mean volume* j³—*cu.ft.*	Keskipituus *Mean length* j—*ft.*
Mäntytukit — *Pine logs*			Kuusitukit — *Spruce logs*		
Etelä-Suomi — *South Finland*					
Länsi-Suomi, vuosituotanto > 10 000 std—*West Finland, annual output > 10 000 stds*					
632	4.69	15.88	1 490	4.97	16.07
681	4.20	15.87	361	4.43	16.05
215	4.69	15.77	560	4.75	15.91
212	5.11	15.39	312	5.22	15.63
Σ 1 740	4.55	15.80	Σ 2 723	4.88	15.98
Länsi-Suomi, vuosituotanto ≦ 10 000 std—*West Finland, annual output ≦ 10 000 stds*					
333	4.55	15.85	50	5.81	16.39
219	2.48	15.22	140	3.72	15.22
106	5.05	16.15	245	4.99	15.92
113	4.91	15.44	173	5.12	15.81
53	4.45	15.50	129	5.49	16.00
60	4.52	15.00	96	4.32	15.20
76	4.20	15.78	73	4.45	16.09
34	4.54	15.88	74	4.85	16.20
Σ 994	4.15	15.62	Σ 980	4.82	15.80
Itä-Suomi, vuosituotanto > 10 000 std — *East Finland, annual output > 10 000 stds*					
1 228	5.00	16.41	288	5.90	16.78
844	5.40	16.48	218	5.56	16.53
915	5.09	16.30	110	5.96	16.50
557	5.77	16.08	224	5.01	16.23
620	5.20	16.73	140	6.09	16.67
403	4.42	15.28	152	4.79	15.29
320	5.06	16.30	6	5.65	17.14
Σ 4 887	5.16	16.30	Σ 1 138	5.54	16.39
Itä-Suomi, vuosituotanto ≦ 10 000 std — *East Finland, annual output ≦ 10 000 stds*					
254	4.35	15.37	92	5.12	15.53
223	4.12	14.75	95	4.43	14.96
200	4.40	16.15	79	4.64	16.10
193	4.71	16.08	83	5.01	16.45
162	4.51	15.94	85	4.03	16.11
114	5.28	16.24	121	4.78	16.18
127	3.85	15.25	95	3.69	15.19
118	4.01	14.55	96	4.01	14.35
Σ 1 391	4.39	15.54	Σ 746	4.46	15.60
Pohjois-Suomi — *North Finland*					
1 323	5.11	15.80	303	4.87	16.03
1 061	5.35	15.77	419	4.63	15.16
1 102	5.91	15.37	305	4.63	14.26
848	4.95	15.69	228	5.58	16.66
376	5.26	15.78	119	4.97	16.38
312	4.85	16.13	91	4.90	16.21
240	4.40	15.76	90	4.58	15.92
157	4.81	14.73	41	4.11	15.03
Σ 5 419	5.25	15.67	Σ 1 596	4.84	15.56

suuri. Kun sitäpaitsi esim. sellaisia sahoja, joiden vuosituotanto on alle 3 000 std ei näytteeseen sisälly lainkaan, voidaan sen katsoa edustavan lähinnä suuria ja keskisuuria sahoja.

Seuraavaan asetelmaan on merkitty kuusitukkien ja mäntytukkien osuudet sahatusta kuutiojalkamäärästä. Länsi-Suomessa kuusta on sahattu enemmän kuin mäntyä kun taas Itä- ja Pohjois-Suomen sahoilla kuusen osuus on ollut verraten vähäinen.

	% sahatusta kuutiojalkamäärästä		
	Mänty	Kuusi	Yhteensä
Länsi-Suomi	40	60	100
Itä-Suomi	76	24	100
Etelä-Suomi, (Itä-Suomi + Länsi-Suomi)	61	39	100
Pohjois-Suomi	79	21	100
Koko maa	67	33	100

Käsittelykelpoisia tietoja lähettäneiden sahojen sahatuiksi ilmoittamat tukkimäärät sekä tukkien keskipituudet ja keskikuutiot on esitetty taulukossa 8. Taulukoiden 6—7 mukaista alueellista ja sahojen suuruusryhmitystä on noudatettu tässäkin, jotta voitaisiin tarkastella näiden ryhmien välisiä keskikuutio- ja keskipituuseroja. Pohjois-Suomen sahat on kuitenkin esitetty vain yhtenä ryhmänä sahojen vähäisen lukumäärän vuoksi. Kussakin ryhmässä sahat ovat niiden sahatuiksi ilmoittamien tukkimäärien (mänty + kuusi) mukaisessa suuruusjärjestyksessä.

Etelä-Suomen suuremmat sahat ovat sahanneet keskimäärin pitempiä ja keskikuutioltaan suurempia tukkeja kuin pienemmät sahat. Tämä voidaan todeta ryhmittäin lasketuista keskipituuksista ja keskikuutioista. Ryhmien sisällä tämänsuuntaista riippuvuutta tuskin voidaan todeta sahojen välisen vaihtelun ollessa varsin huomattava.

Itä-Suomen suurten sahojen ryhmällä kyseiset tunnukset ovat suuremmat kuin Länsi-Suomen vastaavalla ryhmällä. Pienten sahojen ryhmällä suhde on päinvastainen mäntytukkien keskikuutiota lukuunottamatta.

Seuraavan yhteenvetoasetelman mukaan ovat Pohjois-Suomen sahoilla sahatut tukit olleet keskimäärin lyhyempiä kuin Etelä-Suomessa sahatut tukit. Mäntytukkien keskikuutio on ollut kuusitukkien keskikuutiota suurempi Pohjois-Suomen sahoilla kun taas Etelä-Suomen sahoilla ovat kuusitukit olleet järeämpiä kuin mäntytukit. Vertailtaessa Etelä-Suomen saharyhmiä ja alueita tämän asetelman perusteella voidaan todeta, että saharyhmien vertailussa pätee se, mitä taulukon 8 perusteella on jo sanottu, ja että saharyhmät yhdistämällä on Itä-Suomen aineistolle saatu suuremmat keskikuutiot ja keskipituudet kuin Länsi-Suomen aineistolle.

	Mäntytukit			Kuusitukit		
	Sahatut tukit 1 000 kpl	Tukkien keskikuutio j³	Tukkien keski-pituus j	Sahatut tukit 1 000 kpl	Tukkien keskikuutio j³	Tukkien keski-pituus j
Suuret sahat	6 627	5.00	16.2	3 861	5.07	16.1
Pienet sahat	2 385	4.30	15.6	1 726	4.71	15.7
Et.-Suomi yht.	9 012	4.81	16.0	5 587	4.96	16.0
Länsi-Suomi	2 734	4.40	15.7	3 703	4.86	15.9
Itä-Suomi	6 278	4.99	16.1	1 884	5.15	16.1
Et.-Suomi yht.	9 012	4.81	16.0	5 587	4.96	16.0
Pohjois-Suomi yht.	5 419	5.25	15.7	1 596	4.84	15.6

Verrattaessa käytännön aineiston ja tutkimusaineiston keskikuutioita ja keskipituuksia toisiinsa havaitaan allaolevasta asetelmasta, että tutkimusaineiston kaikkien tukkien keskikuutio on eri osa-aineistoissa ollut suurempi kuin käytännön aineistossa. Sekä Etelä- että Pohjois-Suomessa on keskipituus tutkimusaineistossa männyllä pienempi mutta kuusella suurempi kuin käytännön aineistossa.

Alue	Tukkilaji	Tutkimusaineiston mäntytukit		Tutkimusaineisten kuusitukit	
		Keski-kuutio, j³	Keski-pituus, j	Keski-kuutio, j³	Keski-pituus, j
Etelä-Suomi	Tyvitukit	6.71	16.1	6.93	16.8
	Väli-latvatukit	4.07	15.1	4.35	15.5
	Kaikki tukit	5.58	15.7	5.82	16.2
Pohjois-Suomi	Tyvitukit	7.77	15.8	6.34	16.0
	Väli-latvatukit	5.57	14.8	4.57	15.0
	Kaikki tukit	7.07	15.5	5.90	15.8

Tyvitukeilla on sekä keskipituus että keskikuutio huomattavasti suurempi kuin väli-latvatukeilla. Tämä on odotusten mukaista, mutta käytännön aineistossa erot saattavat olla jossain määrin toisenlaiset, koska tutkimusaineisto ei ole tarkoin käytännön suuruusluokkajakautuman mukainen, kuten jäljempänä taulukoista 9 ja 10 käy ilmi.

Taulukossa 9 nähdään käytännön aineiston ja tutkimusaineiston teknillisen kiintomitan jakautuminen latvaläpimittaluokkiin. Tämä antaa selvemmän kuvan tarkasteltavasta asiasta kuin kappalemäärien jakautuminen.

Käytännön aineiston ja tutkimusaineiston jakautuminen on pääpiirteittäin samankaltainen eri osa-aineistoissa. Jakautumat noudattelevat samaa muotoa. Jossain määrin kuitenkin tutkimusaineistossa järeät tukit ovat runsaammin ja pieniläpimittaiset tukit niukemmin edustettuina kuin käytännön aineistossa. Tavoite saada aineistoon mukaan mahdollisimman paljon tukkeja myös suuruusjakautuman laitaosista on järeiden tukkien osalta

Taulukko 9. Käytännön aineiston (Et.-Suomi 27 sahaa ja Pohj.-Suomi 8 sahaa) ja tutkimusaineiston jakautuminen latvaläpimittaluokittain.

Table 9. Top diameter distribution of the practical material (South Finland 27 and North Finland 8 sawmills) and the investigation material.

Alue *District*	Puulaji *Tree species*	Aineisto *Material*	Yht. 1 000 j³ *Total 1 000 cu.ft.*	Latvaläpimitta, tuumaa — *Top diameter, inches*												
				4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15+	yht.
				% teknillisestä kiintomitasta % *of tecnical solid volume*												
Etelä-Suomi *South Finland*	Mänty *Pine*	Käyt. ain. *Pract. mat.*	43 348	0.2	7.7	18.1	21.8	20.4	14.4	9.0	4.8	2.2	0.9	0.2	0.3	100.0
		Tutk. ain. *Investig. mat.*	48	0.2	4.9	10.5	18.9	19.6	16.3	11.6	8.4	5.5	2.9	1.0	0.2	100.0
	Kuusi *Spruce*	Käyt. ain. *Pract. mat.*	27 711	0.2	7.3	17.9	19.4	19.6	14.2	9.7	5.5	3.1	1.6	0.8	0.7	100.0
		Tutk. ain. *Investig. mat.*	51	0.2	4.0	11.7	18.0	20.4	16.1	12.7	7.5	5.5	2.5	1.4	—	100.0
Pohjois-Suomi *North Finland*	Mänty *Pine*	Käyt. ain. *Pract. mat.*	28 457	0.0	4.1	16.4	20.6	19.9	15.2	10.5	6.4	3.5	1.8	0.9	0.7	100.0
		Tutk. ain. *Investig. mat.*	47	0.1	2.6	6.7	10.3	12.3	14.0	16.1	11.2	9.0	4.7	3.5	9.5	100.0
	Kuusi *Spruce*	Käyt. ain. *Pract. mat.*	7 770	0.1	2.5	21.5	27.6	20.3	13.4	7.5	3.7	1.9	0.8	0.4	0.3	100.0
		Tutk. ain. *Investig. mat.*	32	0.2	2.8	13.1	15.2	15.6	17.0	12.8	10.9	7.7	4.3	0.3	0.1	100.0

Taulukko 10. Käytännön aineiston (Et.-Suomi 10 sahaa ja Pohj.-Suomi 1 saha) ja tutkimusaineiston jakautuminen pituusluokittain.

Table 10. Length class distribution of the practical material (South Finland 10 sawmills and North Finland 1 sawmill) and the investigation material.

Alue *District*	Puulaji *Tree species*	Aineisto *Material*	Yht. 1 000 jj *Total rf*	Pituus, jalkaa — *Length, feet*														
				9—10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23+	Yht.
				% juoksujalkamäärästä » % *of number of running feet*														
Etelä-Suomi *South Finland*	Mänty *Pine*	Käyt. ain. *Pract. mat.*	57 244	0.4	0.7	2.4	3.5	12.8	16.0	20.1	14.4	14.8	6.1	5.3	2.4	0.9	0.2	100.0
		Tutk. ain. *Investig. mat.*	132	1.0	1.0	4.9	4.3	14.8	14.6	19.9	12.4	13.9	5.6	4.2	2.0	1.2	0.2	100.0
	Kuusi *Spruce*	Käyt. ain. *Pract. mat.*	21 704	0.3	0.6	2.1	4.0	10.4	15.1	21.8	15.8	15.2	6.0	4.8	2.3	1.3	0.3	100.0
		Tutk. ain. *Investig. mat.*	144	0.2	0.3	2.3	3.5	12.4	14.6	21.3	14.1	14.4	5.6	5.8	2.6	2.5	0.4	100.0
Pohjois-Suomi *North Finland*	Mänty *Pine*	Käyt. ain. *Pract. mat.*	16 949	1.0	1.3	3.5	5.9	17.4	16.0	27.5	10.2	9.7	2.9	2.6	1.3	0.7	—	100.0
		Tutk. ain. *Investig. mat.*	103	0.9	1.4	4.3	5.9	15.3	16.4	23.0	12.2	12.1	3.4	3.0	1.4	0.7	—	100.0
	Kuusi *Spruce*	Käyt. ain. *Pract. mat.*	4 351	—	0.0	1.2	53.7	5.1	5.8	18.1	6.3	6.8	1.3	1.1	0.4	0.2	—	100.0
		Tutk. ain. *Investig. mat.*	86	—	—	2.2	5.8	12.3	13.1	30.7	13.8	14.7	3.4	2.8	0.8	0.4	—	100.0

onnistunut ainakin osittain. Tarkasteltaessa pieniläpimittaisten tukkien osuuksia on taas huomattava, että tutkimuksen kannalta ratkaisevaa on kappalemäärän jakautuminen. Esimerkiksi 5—5½- tuumaisten osuutta tutkimusaineiston kappalemäärästä (taulukot 1—4) on pidettävä tyydyttävänä, sillä se on suurempikin kuin kyseisen luokan osuus käytännön aineiston teknillisestä kiintomitasta.

Käytännön aineistossa Etelä-Suomen kuusitukkeja on hieman enemmän järeämmissä luokissa kuin mäntytukkeja. Suurin on järeiden tukkien osuus Pohjois-Suomen mäntytukeilla. Pohjois-Suomen kuusitukeille on ominaista voimakas keskittyminen muutamiin harvoihin luokkiin. Luokkien 6″—8″ osuus on näillä lähes 70 %. Tosin muissakin osa-aineistoissa näihin luokkiin kuuluu runsaasti yli puolet aineiston kuutiomäärästä. Yli 80 % kuuluu luokkiin 6″—10″ kaikissa aineistoissa.

Käytännön aineiston pituusjakautuma Etelä-Suomen osalta taulukossa 10 perustuu vain 10 sahan ilmoituksiin. Kun näistäkin on suurin osa Itä-Suomesta, on jakautuman edustavuus heikko koko Etelä-Suomea ajatellen. Samaa on sanottava Pohjois-Suomenkin jakautumasta, koska se koskee vain yhtä sahaa. Jakautumat on laskettu juoksujalkamäärän mukaisesti ja ne vastaavat siis likipitäen myös teknillisen kiintomitan mukaista jakautumista.

Lukuunottamatta Pohjois-Suomen kuusitukkeja ovat tutkimusaineiston ja käytännön aineiston pituusjakautumatkin rakenteeltaan samankaltaiset. Tavoite laitapituuksia edustavien tukkien saamiseksi tutkimusaineistoon mahdollisimman suuressa määrin on onnistunut vain osittain, sillä eräiltä osin käytännön aineistot sisältävät näitä enemmänkin kuin tutkimusaineisto.

16-jalkaisten osuus on suurin kaikissa muissa aineistoissa paitsi Pohjois-Suomen käytännön kuusiaineistossa, jossa 13-jalkaisiin kuuluu yli puolet koko juoksujalkamäärästä. Tämä poikkeuksellisuus johtuu siitä, että kyseinen pituus on sahatavarakaupoista johtuen ollut tavoiteltuna pituutena Pohjois-Suomessa. Muiden aineistojen jakautuman rakenne on pääpiirteiltään symmetrinen. 16-jalkaisia pitempien ja lyhyempien osuus on samaa suuruusluokkaa, ja osuudet pienenevät suunnilleen samalla tavalla siirryttäessä tästä pituudesta pitempiin ja lyhyempiin tukkeihin päin. Lukusarjoissa on kuitenkin poikkeamia, jotka aiheutuvat siitä, että parilliset pituudet ovat olleet suositumpia parittomien kustannuksella. Asetelmaan sisältyvien eri sahojen välillä näytti kuitenkin olevan huomattavia eroja siten, että poikkeamia saattoi olla joko tuskin lainkaan havaittavissa tai ne esiintyivät eri suuruisina.

Useimmat niistä sahoista, jotka eivät voineet lähettää tietoja pituusjakautumasta, ilmoittivat kuitenkin tukkiluetteloissaan eri latvaläpimittaluokkien keskipituudet. Tällaisia sahoja kertyi 24 kpl. Kyseisten keskipituuksien keskiarvot on esitetty taulukossa 11. Näiden rinnalla on esitetty tutkimusaineiston vastaavat keskipituudet.

Taulukko 11. Käytännön aineiston (Etelä-Suomi 18 sahaa ja Pohjois-Suomi 6 sahaa) ja tutkimusaineiston keskipituudet eri latvaläpimittaluokissa.

Table 11. Mean lengths in different top diameter classes of the practical material (South Finland 18 and North Finland 6 sawmills) and the investigation material.

Alue *District*	Puulaji *Tree species*	Aineisto *Material*	Latvaläpimitta, tuumaa — *Top diameter, inches*									
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
			Keskipituus, jalkaa — *Mean length, feet*									
Etelä-Suomi *South Finland*	Mänty *Pine*	Käyt. ain. *Pract. mat.*	15.5	15.7	16.2	16.1	16.0	16.2	16.3	16.4	16.4	16.2
		Tutk. ain. *Investig. mat.*	14.4	15.4	15.8	15.6	15.8	15.8	15.9	15.9	15.8	15.6
	Kuusi *Spruce*	Käyt. ain. *Pract. mat.*	13.7	15.1	16.2	16.2	16.0	16.1	16.1	16.2	16.3	16.1
		Tutk. ain. *Investig. mat.*	14.0	15.5	16.5	16.3	16.4	16.3	16.3	16.1	16.0	15.9
Pohjois-Suomi *North Finland*	Mänty *Pine*	Käyt. ain. *Pract. mat.*	14.1	15.9	16.1	15.6	15.5	15.3	15.1	15.1	14.8	14.9
		Tutk. ain. *Investig. mat.*	16.4	16.2	16.2	15.8	15.5	15.3	15.1	14.8	14.8	14.6
	Kuusi *Spruce*	Käyt. ain. *Pract. mat.*	14.2	14.2	15.6	16.0	15.7	15.3	15.3	15.2	15.2	15.1
		Tutk. ain. *Investig. mat.*	14.1	15.4	16.2	16.5	16.0	15.6	15.3	15.2	15.3	15.1

Lukuunottamatta Pohjois-Suomen männyn tutkimusaineistoa keskipituus suurenee siirryttäessä 4-tuumaisista 6-tuumaisiin tukkeihin. Etelä-Suomen aineistoissa 6-tuumaisista lähtien tuskin voidaan havaita latvaläpimitan ja keskipituuden välistä riippuvuutta. Pohjois-Suomen aineistoissa sen sijaan 6—7″ järeämmillä tukeilla keskipituudet pienenevät latvaläpimitan suuretessa.

Vertailtaessa tutkimusaineistoa ja käytännön aineistoa voidaan yhteenvetona todeta, että suuruusluokkajakautumat ovat pääpiirteittäin samanlaiset siitä huolimatta, että tutkimusaineiston keräämisessä pyrittiin tietoisesti kartuttamaan laitasuuruuksia edustavien tukkien määrää. Jossain määrin on järeiden tukkien osuus kuitenkin tutkimusaineistossa suurempi, mistä syystä myös sen keskikuutiot ovat käytännön aineiston keskikuutioita suuremmat.

24. Tutkimusaineiston mittauspaikat ja alueittainen edustavuus

Aineiston keräämisen jouduttamiseksi pyrittiin mittaamaan kuorittuja tukkeja, koska näin vältyttiin mittaustyötä hidastavalta kuoren paksuuden mittaamiselta. Tukkien kuorinnan tapahtuessa pääasiassa sahoilla jouduttiin mittaukset suorittamaan näiden välittömässä läheisyydessä. Koska

kuljettimilla mittaaminen todettiin hankalaksi ja epätarkaksikin, suoritettiin mittaukset pääasiassa sahojen tukkialtailla kävelysilloilta käsin. Muutamissa tapauksissa voitiin mitata myös lautoista altaiden ulkopuolelta. Vain silloin kun kuorittuja tukkeja ei mittauskohteena olevalla sahalla voitu lainkaan mitata tai niiden mittaus oli erikoisen hankalaa, mitattiin maakasoissa tai teloilla olleita kuorellisia tukkeja.

Aineiston jakautuminen mittausalustoittain näkyy seuraavasta asetelmasta.

		Vedessä	Kuljettimilla tukkeja % kappalemäärästä	Maalla	Yhteensä
Etelä-Suomi	Mä	94	3	3	100
»	Ku	73	16	11	100
Pohjois-Suomi	Mä	100	—	—	100
»	Ku	90	10	—	100

Aineiston jakautuminen mittauskohteina olleiden sahojen mukaan näkyy taulukosta 12. Pääosa Etelä-Suomen aineistosta koostuu suursahoilta ja keskisuurilta sahoilta, mutta myös pienet sahat ovat edustettuina. Pohjois-Suomen aineisto on lähes kokonaan peräisin suursahoilta.

Mittauskohteena olevat sahat jakaantuvat eri puolille maata, joten maan eri osat ovat aineistossa edustettuina. Tämä toteamus ei kuitenkaan riitä alueittaista edustavuutta arvosteltaessa. Tätä varten pitäisi ensinnäkin tietää, millä tavalla vuosittain hakattavat tukit kussakin pituus- ja latvaläpimittaluokassa jakautuvat maan eri osien kesken. Toiseksi pitäisi pystyä jaottelemaan tutkimusaineisto vastaavan aluejaon ja luokituksen mukaan. Näin saataisiin vertailuasetelma, jonka mukaan edustavuutta voitaisiin arvostella. Valitettavasti ei edellisen ehdon mukaista jakautumaa voida tilastojen puutteen vuoksi selvittää. Aineiston jakaminen alueittain on myös hyvin arvioluonteista, koska suurten sahojen hankinta-alueet ovat osittain päällekkäin. Jonkinlainen yleiskuva edustavuudesta on kuitenkin yritetty saada aikaan käyttämällä hyväksi valtakunnan metsien III arvioinnin tukkipuuluetteloa vesistöalueittain. Etelä-Suomi jaettiin kolmeen ja Pohjois-Suomi kahteen vesistöalueryhmään ja verrattiin tukkipuiden ja aineiston tyvitukkien jakautumista näiden osa-alueiden kesken. Vertailu on suoritettu taulukossa 13, missä on asetettu rinnakkain tukkipuujakautuman kolme järeysryhmää ja aineiston kolme latvaläpimittajakautuman mukaista ryhmää. Rinnastuksessa on käytetty hyväksi aineiston koetyviaineistoa, josta voitiin määrittää likimääräiset rinnankorkeusläpimitat latvaläpimittaluokittain.

Eräiltä osin taulukon sadannesparit ovat hyvinkin lähellä toisiaan, eräiltä osin erot taas ovat melko suuret. Etelä-Suomen kaakkoisosa näyttäisi olevan kaikkien järeysluokkien kohdalla voimakkaimmin edustettu.

Taulukko 12. Eri sahojen osuus aineistosta.

Table 12. Share of different sawmills in the material.

Saha *Sawmill*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*
	Mitattu tukkimäärä %aineistosta *The number of logs measured, % of the material*	
Etelä-Suomen aineisto — *The material from South Finland*		
A. Ahlström Oy, Pihlava	7	1
» ,Varkaus	—	2
Joh. Askolin Oy, Isnäs (Mittaus Kymijoen erott.)	1	1
Ab. J. W. Enqvist Oy, Lielahti	2	3
Enso-Gutzeit Oy, Kotka (Norjan ja Hietasen sahat)	11	16
Hiedan Saha Oy, Orivesi	1	3
Iisveden Metsä Oy, Iisvesi	7	—
Karkun Saha Oy, Karkku	—	1
Karjalan Metsätuote Oy, Lappeenranta	3	—
Kiepin Saha, Mäntyharju	6	—
Kymin Oy, Kotka (Mittaus Kymijoen erott.)	4	3
Lohjanvesistön Metsä Oy, Lohja	0	3
Metsäliiton Selluloosa Oy, Äänekoski	1	2
Mäntsälän Saha, Mäntsälä	1	1
Nurmeksen Saha Oy, Nurmes	5	—
Nurmisen Saha Oy, Korpilahti	—	5
Paimion Saha Oy, Paimio	1	1
H. Peura, Oy, Iisvesi	1	—
» , Pitkälahti	2	7
OTK:n Puu Oy, Hämeenlinna	8	—
Pohjan Saha ja Mylly Oy, Ruovesi	4	1
Rauma-Repola Oy, Lahti	4	8
» , Lappeenranta	9	—
» , Joensuu	1	6
» , Rauma	—	4
Riihimäen Saha Oy, Riihimäki	—	4
W. Rosenlew & Co Ab, Pori	—	11
H. Saastamoinen Oy, Kuopio	4	1
Saimaan Saha, Lappeenranta	8	0
Oy Wilh. Schaumann Ab, Pietarsaari	—	8
Soinlahti Osakeyhtiö, Soinlahti	—	2
Suolahden Puu Oy, Suolahti	6	1
Vartsalan Sahateollisuus Oy, Vartsala	1	1
Veitsiluoto Osakeyhtiö, Lieksa	1	4
Ylä-Savon Saha Oy, Iisalmi	1	—
	100	100
Pohjois-Suomen aineisto — *The material from North Finland*		
Kajaani Oy, Kajaani	—	13
Kemi Oy, Kemi	29	30
Kuusamon Puu Oy, Kuusamo	0	—
Kuusamon Saha Oy, Vuotunki	0	10
Oulu Oy, Hyrynsalmi	13	18
Oulu Oy, Pateniemi	18	—
Rauma-Repola Oy, Martinniemi	18	17
Veitsiluoto Oy, Veitsiluoto	22	12
	100	100

Taulukko 13. Tyvitukkien jakautuminen maan eri osiin verrattuna valtakunnan metsien III arvioinnin mukaiseen tukkipuiden jakautumiseen.

Table 13. Amount of butt logs in the material compared with the number of saw timber trees, according to the Third National Forest Inventory, in the different parts of the country.

Alue *District*	Puulaji *Tree species*	Osa-alue [1] *Part district* [1]	$D_{1.3}$ cm tukkipuilla/D_1" tyvitukeilla *$D_{1.3}$ cm for saw timber trees/D_t for butt logs*		
			≷24/7½	25—30/8—9½	≷31/10
			% tukkipuiden määrästä/% tyvitukkien määrästä *% of sow timber trees/% of butt logs*		
Etelä-Suomi *South Finland*	Mänty *Pine*	Lounaisosa — *South-western p.*	34/24	37/29	37/40
		Pohjoisosa—*Northern p.*	36/38	33/23	34/17
		Kaakkoisosa — *South-eastern p.*	30/38	30/48	29/43
			100/100	100/100	100/100
	Kuusi *Spruce*	Lounaisosa — *South-western p.*	49/41	49/32	49/45
		Pohjoisosa—*Northern p.*	36/36	34/41	32/30
		Kaakkoisosa — *South-eastern p.*	15/23	17/27	19/25
			100/100	100/100	100/100
Pohjois-Suomi *North Finland*	Mänty *Pine*	Eteläosa — *Southern p.*	58/53	52/48	42/39
		Pohjoisosa—*Northern p.*	42/47	48/52	58/61
			100/100	100/100	100/100
	Kuusi *Spruce*	Eteläosa — *Southern p.*	67/63	59/56	52/58
		Pohjoisosa—*Northern p.*	33/37	41/44	48/42
			100/100	100/100	100/100

[1]) Aluejaon perustana on käytetty vesistöalueita. Etelä-Suomen lounaisosa käsittää eteläisen ja lounaisen rannikon ja Kokemäenjoen vesistöalueet sekä männyn osalta myös Pohjanmaan eteläisen vesistöalueen, kaakkoisosa Päijänteen ja Saimaan eteläiset vesistöalueet, pohjoisosa Pielisen vesistöalueen, Päijänteen, Saimaan ja Pohjanmaan pohjoiset vesistöalueet sekä kuusen osalta myös Pohjanmaan eteläisen vesistöalueen. Pohjois-Suomen eteläosa käsittää Oulujoen, Simo-, Ii- ja Kiiminkijoen vesistöalueet ja pohjoisosa Tornio—Muoniojoen ja Kemijoen vesistöalueet.

[1]) *Water system areas were used as the basis of the geographical districts. The southwestern part of southern Finland covers the water system areas of the southern and southwestern coast and Kokemäenjoki and, for pine, also the southern water system area of Pohjanmaa; the southeastern part covers the southern water system areas of Päijänne and Saimaa; the northern part covers the water system area of Pielinen, the northern water system areas of Päijänne, Saimaa and Pohjanmaa and, for spruce, also the southern water system area of Pohjanmaa. The southern part of northern Finland covers the water system areas of Oulujoki and Simojoki, Iijoki and Kiiminkijoki, and the northern part the water system areas of Tornionjoki—Muonionjoki and Kemijoki.*

Pohjois-Suomen osalta sadannekset ovat tyydyttävästi samaa suuruusluokkaa. Miltään osin ei taulukon lukuja katsottu voitavan käyttää aineiston täydentämisen ohjeena tai painolukuina tutkimustuloksia laskettaessa. On

luonnollista, että aineiston alueittaisella edustavuudella on tutkimustuloksissa merkitystä vain silloin, kun aineiston tutkittavat ominaisuudet ovat osa-alueilla erilaiset. Jos eroja ei ole, on samantekevää, miltä osa-alueelta aineisto on kerätty. Mikäli eroja esiintyy, soveltuvat tulokset aluekokonaisuudella käytettäviksi sitä paremmin, mitä edustavampi tutkimusaineisto on osa-alueisiin nähden.

3. Tutkimustulokset

31. Kapeneminen

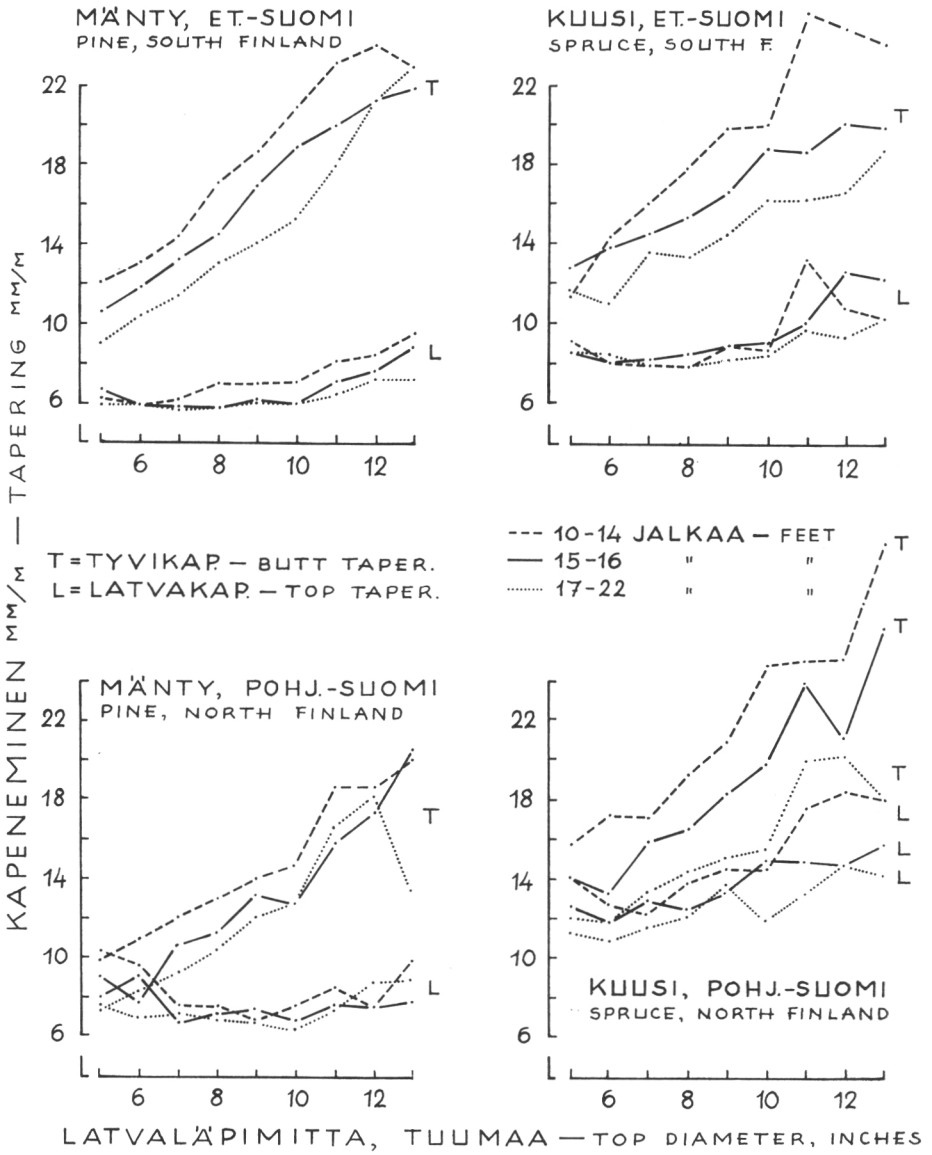
Seuraavassa tarkastelussa tarkoitetaan t y v i k a p e n e m i s e l l a kapenemista tyvestä keskelle ja l a t v a k a p e n e m i s e l l a kapenemista keskeltä latvaan.

Eri osa-alueiden välisiä kapenemiseroja selvitettiin ainoastaan 16-jalkaisten latvaläpimitaltaan 6—9½-tuumaisten tukkien latvakapenemisen osalta. Aineiston voimakkaan hajonnan vuoksi voitiin johtopäätöksiä tehdä vain rajoitetusti. Havaittiin kuitenkin, että Pohjois-Suomen pohjoisosan kuusityvillä oli kapeneminen selvästi eteläosan kuusityvien kapenemista suurempi. Kapenemiserot olivat samansuuntaisia eri tuumaluokissa ja olivat myös tilastollisesti merkitseviä luokkia 7½″ ja 9½″ lukuunottamatta. Johdonmukaista eroavuutta havaittiin myös Etelä-Suomen pohjoisosan ja lounaisosan kuusityvien välillä. Pohjoisosan kuusityvet olivat nimittäin kaikissa käsitellyissä tuumaluokissa lounaisosan kuusityviä kapenevampia. Erot olivat kuitenkin huomattavasti vähäisempiä kuin edellämainitut Pohjois-Suomen osa-alueiden väliset erot ja tilastollisesti merkitsevä oli ero vain tuumaluokissa 7½ ja 9. Muilta osin osa-alueiden väliset erot olivat yleensä pieniä ja osittain tuumaluokittain ristiin käypiä.

Tutkimuksen tässä vaiheessa voitiin jo päätellä, ettei eri latvamuotolukusarjojen laatiminen Etelä- ja Pohjois-Suomen osa-alueille ollut mahdollista. Näinollen kapenemistarkasteluakin jatkettiin vain näiden suurten aluekokonaisuuksien puitteissa.

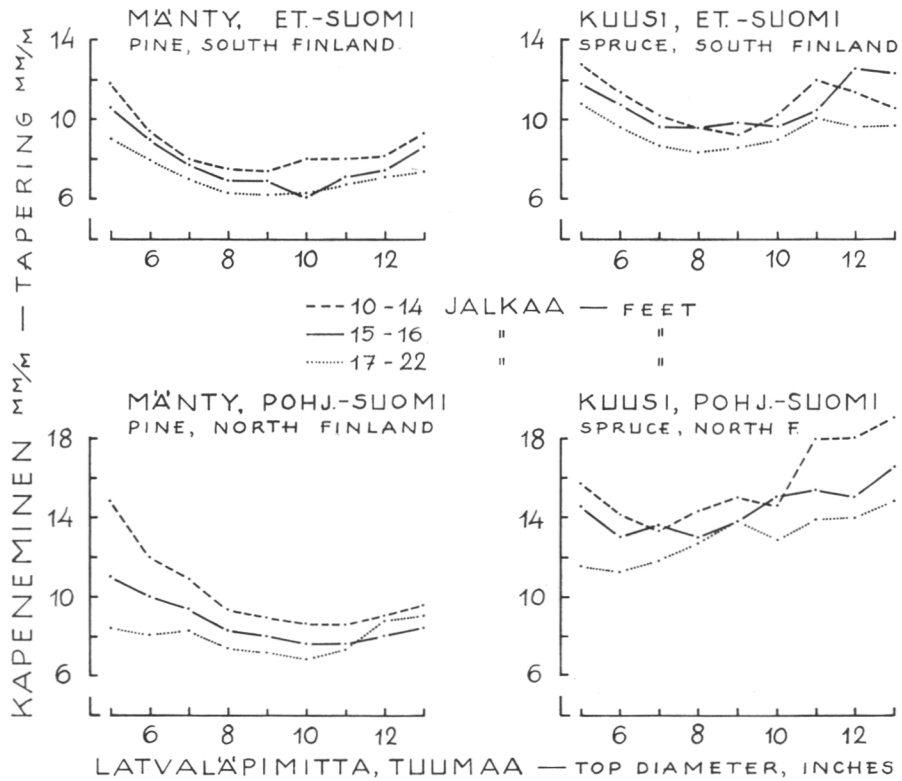
Koska pituuden ja kapenemisen välinen riippuvuus näytti suurelta osalta varsin vähäiseltä, yhdistettiin jalkaluokat kolmeksi luokaksi siten, että 10—14 -jalkaiset, 15—16 -jalkaiset ja 17—22 -jalkaiset tukit muodostivat omat luokkansa. Latvaläpimittaluokittain tukit luokiteltiin 1 tuuman alenevalla luokituksella.

Näin muodostetuille luokille laskettiin kapeneminen juoksumetriä kohden. Piirroksissa 1—2 on esitetty tyvitukkien ja kaikkien tukkien kapenemiskuvaajat. Kaikkien tukkien tyvikapenemista ei ole laskettu, koska tyvitukkien ja väli-latvatukkien tyvimitan mittauskohdat ovat erilaiset. (Vrt. sivu 9).



Piirros 1. Tyvitukkien kapeneminen.
Figure 1. Tapering of butt logs.

Tyvitukkien tyvikapenemisen tarkastelussa on huomattava, etteivät Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen aineistojen kapenemisluvut ole sellaisinaan vertailukelpoisia, koska tyviläpimitan mittauskohdat vaihtelevat. Pohjois-Suomessahan mittauskohta oli kiinteästi 65 cm päässä tyvileikkauksesta, kun taas Etelä-Suomen aineiston tyvitukkien tyviläpimittain keskimääräiset mittausetäisyydet vaihtelivat seuraavasti.



Piirros 2. Kaikkien tukkien latvakapeneminen.
Figure 2. Top tapering of all logs.

Pituus, jalkaa	Latvaläpimitta, tuumaa								
	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Tyvimitan keskim. mittausetäisyys tyvileikkauksesta, cm								
Mänty 10—14	26	32	35	39	45	49	51	59	57
15—16	29	33	38	42	45	51	53	62	59
17—23	32	36	40	44	50	53	52	66	58
Kuusi 10—14	31	34	38	44	51	57	63	67	74
15—16	31	36	43	46	51	52	62	67	82
17—23	32	39	43	49	56	56	63	75	80

Tyvitukin latvaläpimitan ja pituuden suuretessa mittausetäisyys näyttää suurenevan. Tämä on luonnollista, koska tyvipaisuma ulottuu sitä pitemmälle, mitä järeämpi puu on. Kuusella mittausetäisyys on suurempi kuin männyllä, mikä puolestaan on sopusoinnussa sen yleiskäsityksen kanssa, että kuusen tyvipaisuma on männyn tyvipaisumaa voimakkaampi.

Kapenemisen ja latvaläpimitan sekä kapenemisen ja pituuden välisestä riippuvuudesta on voitu todeta mm. seuraavaa.

a) Tyvitukit (piirros 1)

Latvaläpimitan suuretessa latvakapeneminen ensin pienenee, mutta myöhemmin suurenee. Tyvikapeneminen suurenee pienimmistä läpimitoista lähtien.

Pituuden suuretessa sekä latva- että tyvikapeneminen useimmissa tapauksissa pienenevät. Tämänsuuntainen riippuvuus on selvempi tyvikapenemisessa kuin latvakapenemisessa. Ilmeisintä poikkeuksellisuutta havaitaan Etelä-Suomen aineiston kuusityvillä, joiden latvakapeneminen on keskimmäisessä pituusluokassa muita pituusluokkia suurempi keskisuurissa latvaläpimittaluokissa.

b) Kaikkitukit (piirros 2)

Latvaläpimitan ja latvakapenemisen välinen riippuvuus on samansuuntainen kuin tyvitukeilla, mutta selvempi. Sama havainto voidaan tehdä pituuden ja latvakapenemisen välisestä riippuvuudesta. Poikkeuksellisia ovat tässäkin tapauksessa Etelä-Suomen aineiston kuusitukit, joilla keskipitkät tukit kapenevat osittain voimakkaimmin.

c) Väli-latvatukit

Männyllä ja pieniläpimittaisilla kuusitukeilla latvakapeneminen yleensä pienenee latvaläpimitan suuretessa. Järeämmillä kuusitukeilla latvakapeneminen on joko suunnilleen muuttumaton tai suurempi, kun siirrytään suurempiin latvaläpimittoihin päin. Tyvikapenemisen ja latvaläpimitan välinen riippuvuus on mäntytukeilla ja lyhyillä kuusitukeilla saman suuntainen kuin latvakapenemisessakin. Pitemmillä kuusitukeilla tyvikapeneminen sen sijaan suurenee latvaläpimitan suuretessa jo pieniläpimittaisista tukeista lähtien.

Pituuden suuretessa sekä latva- että tyvikapeneminen pienenee selvästi pieniläpimittaisilla tukeilla. Järeämmillä tukeilla riippuvuus on vähäinen tai päinvastainen suunnaltaan.

Tyvikapenemisen ja latvakapenemisen vertailussa on voitu todeta seuraavaa.

a) Tyvitukit (piirros 1)

Tyvikapeneminen on latvakapenemista selvästi suurempi lukuunottamatta Pohjois-Suomen aineiston pieniläpimittaisia tukkeja, joilla kapenemisluvut ovat lähellä toisiaan. Kapenemisero on Pohjois-Suomen aineistossa muiltakin osin pienempi kuin Etelä-Suomen aineistossa, mutta tämä johtuu ainakin osittain tyvimittain erilaisista mittauskohdista.

b) Väli-latvatukit

Pieniläpimittaisilla tukeilla latvakapeneminen on kaikissa tapauksissa tyvikapenemista suurempi. Ero pienenee latvaläpimitan suuretessa. Järeämmillä tukeilla ero on vähäinen tai suunnaltaan päinvastainen.

Odotusten mukaisesti voidaan tämän kapenemistarkastelun perusteella todeta, että tyvitukit omaavat neiloidin ja latvatukit paraboloidin piirteitä välitukkien lähennellessä muodoltaan katkaistua kartiota.

Verrattaessa tyvitukkien ja väli-latvatukkien kapenemisen suuruutta on nähtävissä, että useimmissa tapauksissa latvakapeneminen on tyvitukeilla selvästi pienempi kuin väli-latvatukeilla. Järeämmissä latvaläpimittaluokissa kyseinen ero kuitenkin pienenee. Tyvikapeneminenkin on tyvitukeilla pienissä läpimittaluokissa pienempi kuin väli-latvatukeilla. Latvaläpimitan suuretessa ero muuttuu kuitenkin päinvastaiseksi ja järeimmissä luokissa tyvitukkien tyvikapeneminen on hyvin selvästi väli-latvatukkien tyvikapenemista suurempi.

Männyn ja kuusen kapenemisen vertailussa havaitaan, että kuusitukeilla on suurempi latvakapeneminen. Samoin on laita tyvikapenemisessakin lukuunottamatta Etelä-Suomen aineiston järeitä tyvitukkeja. On kuitenkin huomattava, että järeiden kuusityvien tyvimitat on mitattu huomattavasti kauempaa tyvileikkauksesta kuin vastaavat mitat mäntytyvillä. (Vrt. sivu 31).

Pohjois-Suomen aineistossa on latvakapeneminen eräitä poikkeuksia lukuunottamatta suurempi kuin Etelä-Suomen aineistossa. Sama pätee tyvikapenemiseenkin väli-latvatukeilla, mutta kuten aikaisemmin on huomautettu, ei vertailu tyvitukeilla ole mahdollista tyvimittain erilaisten mittauskohtien vuoksi.

Ruotsalaisessa julkaisussa Vid virkesmätning erforderliga relationstal (1923) on kapenemisen riippuvuus latvaläpimitasta sekä puu- ja tukkilajista todettu samansuuntaiseksi kuin käsillä olevassa tutkimuksessakin. Pituuden vaikutusta ei erikseen selvitetä, mutta todetaan, että pitkillä tukeilla on kapeneminen pienempi kuin lyhyillä tukeilla, koska lievästi kapenevista rungoista pyritään tekemään pitkiä tukkeja. Tämä on luonnollinen selitys myös siihen, mitä edellä on todettu pituuden ja kapenemisen välisestä riippuvuudesta.

Eklund (1950) on niinikään päässyt samankaltaisiin tuloksiin kapenemiseen liittyvistä tekijöistä. Tarkkaa vertailua kyseisten tutkimusten tuloksiin ei kuitenkaan voida suorittaa, koska niissä on tulokset esitetty pituudeltaan lajittelemattomasta aineistosta.

32. Latvamuotoluvut (Liitetaulukot 1—18)

321. Latvamuotolukusarjojen laatimisesta ja niiden rakenteesta

Kapenemistarkastelun yhteydessä oli aineiston muototunnusten hajonta todettu sellaiseksi, ettei latvamuotolukusarjojen laadintaan osa-alueittain ollut tyydyttäviä mahdollisuuksia aineiston määränkään puolesta. Haittatekijänä oli vielä osa-alueitten rajoittamisen arvioluonteisuus. Kapenemis-

erot Etelä- ja Pohjois-Suomen aineistojen välillä olivat kuitenkin siksi suuret, että katsottiin olevan syytä laatia erilliset sarjat entiseen tapaan Etelä-Suomelle ja Pohjois-Suomelle, jolloin Oulujoen vesistöalue ja siitä pohjoiseen sijaitsevat vesistöalueet muodostavat Pohjois-Suomen alueen. Niinikään todettiin, että Pohjois-Suomen väli-latvatukeille ei ollut mahdollista laatia erillisiä latvamuotolukusarjoja, koska aineisto oli liian niukka tätä tarkoitusta varten.

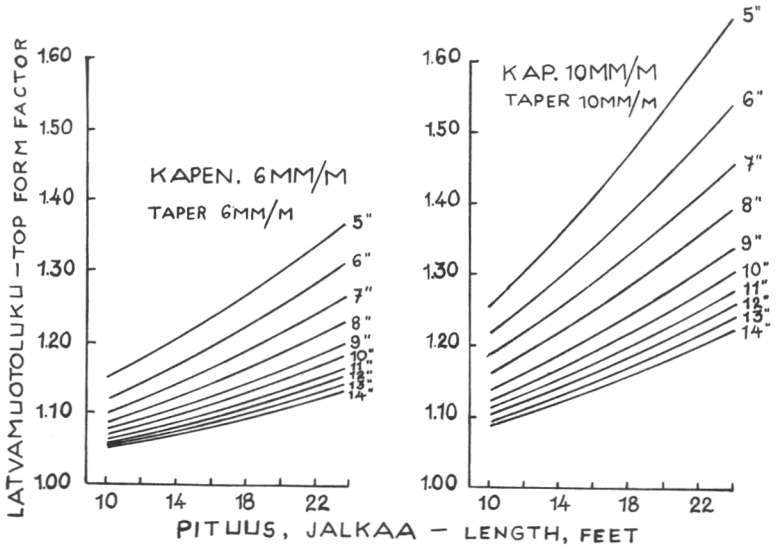
Latvamuotolukusarjat laadittiin kaksinkertaista graafista tasoitusta käyttäen. Kunkin pituusluokan jokaiselle latvaläpimittaluokalle laskettiin keskimääräinen latvamuotoluku.[1]) Sen jälkeen piirrettiin kullekin pituusluokalle tasoituskäyrä. Näiltä tasoituskäyriltä poimittiin sitten latvaläpimittaluokkia vastaavat latvamuotoluvut, jotka edelleen tasoitettiin latvaläpimittaluokittain. Näin muodostuivat yhtenäiset latvamuotolukukäyrästöt, joita lähinnä äärisuuruuksien kohdalla jouduttiin myöhemmin tapahtuneen latvamuotolukujen tarkistuksen yhteydessä jonkin verran korjaamaan.

Piirroksessa 3 on esitetty kaksi latvamuotolukusarjaa, joissa kummassakin latvakapeneminen on vakio. Kun tukin pituus on abskissana ja latvamuotoluku ordinaattana, muodostavat latvamuotolukujen kautta piirretyt latvaläpimittaluokittaiset käyrät oikealla nousevan ja hiukan ylöspäin kaartuvan viuhkan. Viuhkan käyrät etääntyvät toisistaan pienempiin latvaläpimittaluokkiin päin siirryttäessä. Suurempi kapeneminen aiheuttaa käyrästön siirtymistä ylöspäin, koska kapenemisen suuretessa latvamuotoluvutkin suurenevat. Samalla käyrien noususuunta käy jyrkemmäksi, sillä kapenemisen suuretessa kasvavat myös pituusluokkien väliset latvamuotolukujen erot.

Arvosteltaessa latvamuotolukusarjojen laadinnan onnistumista, verrattiin latvamuotolukukäyrästöjä näihin »mallikäyrästöihin» ja toisaalta aikaisemmin laadittuihin kapenemista esittäviin piirroksiin (sivut 30—31). Aineistosta saatujen käyrästöjen perusrakenne oli mallikäyrästöjen kaltainen. Eräs oleellinen ero oli se, että pieniläpimittaisilla tukeilla käyrät olivat kauempana toisistaan ja järeillä tukeilla lähempänä toisiaan kuin mallikäyrästöissä. Tämä on sopusoinnussa latvakapenemisesta tehtyjen havaintojen kanssa, joiden mukaan latvaläpimitan suuretessa latvakapeneminen ensin pienenee mutta myöhemmin suurenee.

Pääosaltaan käyrästöt osoittivat nousevaa suuntaa oikealle. Poikkeuksen muodostivat lähinnä Pohjois-Suomen aineiston pieniläpimittaisten mäntytukkien kaikkien tukkien käyrät, jotka varsinkin lyhyiden tukkien osalta

[1]) Latvamuotoluvut laskettiin tässä vaiheessa jakamalla tukin nimellistä pituutta vastaava todellinen kiintomitta (nimellinen pituus × keskikohdan poikkipinta-ala) nimellistä pituutta ja täsmällistä latvaläpimittaa vastaavalla teknillisellä kiintomitalla (nimellinen pituus × poikkileikkauspinta-ala latvasta). Latvamuotolukusarjojen ja kapenemissarjojen vertailuun perustuva muotolukujen tarkistus voitiin helpoimmin suorittaa, kun latvamuotoluvut oli laskettu edelläkuvatulla tavalla. Lopulliseen, tässä tutkimuksessa esitettävään muotoonsa (kts. sivu 9) näin lasketut latvamuotoluvut on saatettu korjauskertoimien avulla.



Piirros 3. Vakiokapenemisen mukaisia latvamuotolukukäyrästöjä.
Figure 3. Sets of top form factor curves in accordance with standard tapering.

osoittivat melko jyrkästikin oikealle laskevaa suuntaa. Tähän seikkaan kiinnitettiin erikoista huomiota, mutta muotolukusarjojen todettiin tältäkin osin vastaavan kapenemisessa tehtyjä toteamuksia. Kuten kapenemispiirroksista todetaan, on latvakapeneminen aineiston siinä osassa suhteellisen suuri, missä muotoluvutkin on saatu poikkeuksellisen suuriksi.

Toisena tasoituksen arvosteluperusteena käytettiin latvamuotolukusarjojen perusteella laadittuja kapenemissarjoja. Verrattaessa näiden sarjojen kapenemislukuja varsinaisessa kapenemistarkastelussa saatuihin lukuihin, todettiin, että aineiston keskeiseltä osalta kapenemisluvut olivat samaa suuruusluokkaa, ja kapenemissarjat olivat rakenteeltaan samankaltaisia. Tämän tarkastelun pohjalta tehtiin latvamuotolukusarjoihin kuitenkin eräitä muutoksia sellaisissa kohdissa, joissa latvamuotolukujen perusteella lasketut kapenemisluvut osoittivat epäjohdonmukaisuutta sarjojen kokonaisrakenteen kannalta.

Verrattaessa nyt laadittujen latvamuotolukusarjojen rakennetta K i i n t o m i t t a t a u l u k o i s s a (1929) esitettyihin latvamuotolukusarjoihin voidaan todeta perusrakenteiden olevan samankaltaisia. Poikkeuksen muodostavat edellämainitut Pohjois-Suomen aineiston pieniläpimittaiset lyhyet tukit, joiden muotoluvut Kiintomittataulukoissa eivät ole mitenkään poikkeukselliset.

A r c h e r i n ja E i d e n (1920) Keski- ja Etelä-Norjassa mitatuille tukeille laatimissa latvamuotolukusarjoissa on sarjojen rakenne myös pää-

piirteittäin samanlainen kuin nyt esitettävissä sarjoissa. Ruotsalaisessa komiteanmietinnössä Vid virkesmätning... (1923) esitetyt eri puolilta Ruotsia mitattuun aineistoon perustuvat muotoluvut on esitetty vain latvaläpimittaluokittain. Myöskään Eklund (1950) ei ole esittänyt latvamuotolukuja pituusluokittain käsitellessään Keski-Ruotsista mitattua aineistoa. Vertailua näihin tutkimuksiin haittaa siis erilainen tulosten esittäminen. Latvaläpimitan vaikutus latvamuotolukuun näyttää kuitenkin samanlaiselta. Siirryttäessä suurempia latvaläpimittoja kohden latvamuotoluvut hidastuvasti pienenevät. Muista tässä esitetyistä sarjoista poiketen osoittavat komiteamietinnössä Vid virkesmätning esitetyt latvamuotoluvut kaikkein järeimmissä luokissa jo nousevaa suuntaa. On kuitenkin huomattava, että verrattavien tutkimusten aineistot ovat näiltä osin suhteellisen pienet.

Eklund (1950) toteaa, että keskimääräinen latvamuotoluku latvaläpimitaltaan lajittelemattomassa aineistossa ei sanottavasti muutu, kun keskipituus vaihtelee kohtuullisten rajojen sisällä. Vaikka vertailu ei tässäkään kohdin ole riidatonta, ei käsillä olevan tutkimuksen perusteella voitane sanoa samaa, koska pituuden vaikutus latvamuotolukuun on eräiltä osin varsin huomattava.

322. Latvamuotolukujen vertailu Kiintomittataulukoiden (1929) latvamuotolukuihin

Suomessa käytössä olevat Kiintomittataulukoiden latvamuotoluvut perustuvat tukkien pölkyttäiseen kiintomitan määrittämiseen. Nyt esitettävät tukin keskikohdan läpimittaan perustuvat latvamuotoluvut eivät siis sellaisenaan ole vertailukelpoisia Kiintomittataulukoiden latvamuotolukujen kanssa. Vertailun mahdollistamiseksi ensinmainitut on kerrottu tarkan kiintomitan ja todellisen kiintomitan suhdeluvulla, jotka on esitetty jäljempänä taulukossa 19. Latvamuotolukuihin sisältyvät tasausvaran ja läpimitan alaspäin pyöristyksen korjaustekijät on myös huomioitu. Niinikään on suoritettu tarvittava interpolointi. Koska Kiintomittataulukoiden latvamuotoluvut on laadittu kaikkia tukkeja koskeviksi tukkilajeja erottelematta, voidaan vertailu suorittaa vain näiltä osin. Vertailu on suoritettu joka toisessa latvaläpimitta- ja pituusluokassa. Se on esitetty taulukossa 14.

Pieniläpimittaisilla tukeilla esiintyvää muotolukujen eroa on pidettävä erittäin huomattavana. Eron selitykseksi tuskin riittävät aineiston keräämisen tai käsittelyn erilaisuudet tai niissä mahdollisesti sattuneet virheet. On ilmeistä, että tukkien muodossa on näiden latvaläpimittaluokkien osalta tapahtunut huomattava muutos. Muutoksen syitä on hyvin vaikea päätellä. Mahdollisesti selitys löytyy kuitenkin hakattavien tukkipuiden iän ja koon eroista. Runsaat 30 vuotta sitten hakattiin tukeiksi todennäköisesti iältään huomattavasti vanhempaa ja järeämpää puustoa kuin nykyisin. Pieniläpi-

Taulukko 14. Latvamuotoluvut verrattuina Kiintomittataulukoiden latvamuotolukuihin

Table 14. Top form factors compared with the top form factors of the Kiintomittataulukot.

Aineisto *Material*	Pituus, jalkaa *Length, feet*	Latvaläpimitta, tuumaa — *Top diameter, inches*									
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		Uudet latvamuotoluvut % Kiintomittataulukoiden luvuista *New top form factors in per cent of the top form factors of the Kiintomittataulukot.*									
Etelä-Suomi	13	95	96	98	99	99	100	100	100	100	100
South Finland	15	94	96	98	100	100	100	100	100	101	100
Mänty — *Pine*	17	91	94	98	99	99	99	100	100	100	100
	19	85	91	97	99	99	99	99	99	99	100
	21	83	90	96	98	100	100	100	100	100	100
	23	81	88	96	98	100	100	100	101	101	102
Etelä-Suomi	13	89	91	96	98	99	100	102	103	103	104
South Finland	15	91	93	96	98	100	102	103	103	103	103
Kuusi — *Spruce*	17	90	93	96	97	100	102	103	103	105	104
	19	89	92	96	97	100	102	103	103	105	104
	21	88	91	94	96	100	101	102	103	104	104
	23	85	89	93	96	99	100	102	103	104	105
Pohjois-Suomi	13	94	95	96	96	98	99	99	99	99	97
North Finland	15	89	90	91	94	96	98	98	98	99	98
Mänty — *Pine*	17	85	86	89	92	95	97	97	98	98	98
	19	82	84	87	91	95	97	98	99	99	98
	21	80	82	86	91	95	98	98	100	100	99
	23	79	81	85	91	95	98	100	101	101	101
Pohjois-Suomi	16	97	99	99	102	104	104	105	104	—	—
North Finland	18	94	97	98	101	102	102	102	103	—	—
Kuusi — *Spruce*	20	92	95	97	99	101	101	102	102	—	—
	22	90	92	96	99	99	99	100	101	—	—

mittaisissa tukeissa on silloin ollut ilmeisesti nykyistä suurempi osuus iäkkäiden puiden huonomuotoisia latvatukkeja, mistä syystä niiden latvamuotoluvut ovat olleet nykyistä suuremmat. Pituusjakautuman eroilla on myös ollut mahdollisesti vaikutuksensa. Yleisesti tunnettuahan on, että keskipituudet ovat huomattavasti pienentyneet.

Latvamuotoluvut lähenevät toisiaan siirryttäessä järeämpiin latvaläpimittaluokkiin. Kummallekin puulajille ja alueelle yhteisenä piirteenä voidaan havaita, että järeyden mukana latvamuotolukujen suhde suurenee. Yhdenmukaisuutta esiintyy myös pituuden ja suhdelukujen välisessä riippuvuudessa. Sarjoilla on kuitenkin myös huomattavia eroja. Latvamuotoluvut ovat esimerkiksi Etelä-Suomen mäntytukeilla 8—9 -tuumaisista tukeista lähtien likipitäen samansuuruiset kun taas Pohjois-Suomen mäntytukeilla on eroa Kiintomittataulukoiden lukuihin kaikkein järeimpiin tukkeihin saakka. Kuusitukeilla ovat Kiintomittataulukoiden luvut sekä Etelä- että Pohjois-Suomen aineistossa järeiden tukkien osalta nyt saatuja lukuja pienempiä.

323. Latvamuotolukujen avulla saatu todellinen kiintomitta verrattuna mittausten mukaiseen todelliseen kiintomittaan

Latvamuotolukutaulukoiden laadinnan lopullisena arvosteluperusteena käytettiin taulukoiden avulla saatavan kiintomitan ja aineiston mittauksiin perustuvan kiintomitan vertailua. Se on esitetty taulukossa 15, jossa latvamuotolukuja käyttämällä saatu kiintomitta on esitetty sadanneksina mit-

Taulukko 15. Latvamuotolukujen avulla laskettu todellinen kiintomitta verrattuna mittausten mukaiseen todelliseen kiintomittaan.

Table 15. Actual solid volume calculated by means of top form factors compared with actual solid volume in accordance with measurements.

Puulaji *Tree species*	Tukkilaji *Log type*	D_1'' D_t''	Etelä-Suomi *South Finland*			Pohjois-Suomi *North Finland*		
			Pituus, jalkaa — *Length, feet*					
			≤ 13	14—19	≥ 20	≤ 13	14—19	≥ 20
			Latvamuotolukujen avulla saatu todellinen kiintomitta % mittauksiin perustuvasta todellisesta kiintomitasta *Actual solid volume calculated by means of top form factor in per cent of actual solid volume in accordance with measurements*					
Mänty *Pine*	Tyvitukit *Butt logs*	4— 5½	102.0	99.3	98.0	97.7	100.2	98.1
		6— 7½	99.2	100.1	100.1	99.2	100.2	98.7
		8— 9½	100.1	99.8	100.5	100.6	99.6	100.7
		10—11½	99.6	100.2	99.8	99.3	100.2	99.8
		12—13½	99.1	99.9	98.7	99.5	99.5	108.6
	Väli-latvatukit *Middle and top logs*	4— 5½	99.3	99.9	102.5	—	—	—
		6— 7½	100.0	99.8	97.4	—	—	—
		8— 9½	100.6	100.3	99.9	—	—	—
		10—11½	99.3	100.4	97.1	—	—	—
		12—13½	101.1	99.7	—	—	—	—
	Kaikki tukit *All logs*	4— 5½	100.3	99.5	99.5	97.3	99.8	97.4
		6— 7½	99.7	100.0	99.0	93.9	99.7	98.4
		8— 9½	100.4	99.9	100.5	100.2	100.4	100.2
		10—11½	99.9	100.4	100.0	99.7	100.6	96.9
		12—13½	99.9	99.9	98.5	100.0	99.8	101.0
Kuusi *Spruce*	Tyvitukit *Butt logs*	4— 5½	104.9	99.8	110.6	101.0	99.2	104.5
		6— 7½	100.2	100.0	99.3	102.0	100.0	100.1
		8— 9½	100.9	100.1	99.7	100.0	100.1	98.9
		10—11½	98.8	100.0	100.5	100.0	100.0	103.9
		12—13½	102.7	99.7	102.2	99.3	99.7	94.6
	Väli-latvatukit *Middle and top logs*	4— 5½	101.0	100.5	98.2	—	—	—
		6— 7½	99.5	100.1	99.5	—	—	—
		8— 9½	100.6	99.5	103.4	—	—	—
		10—11½	98.1	100.3	101.9	—	—	—
		12—13½	100.9	100.5	—	—	—	—
	Kaikki tukit *All logs*	4— 5½	100.4	100.0	99.1	99.5	99.9	108.0
		6— 7½	100.0	99.9	100.0	101.2	99.8	101.3
		8— 9½	100.4	99.9	99.7	98.9	100.0	98.4
		10—11½	97.7	100.3	102.3	100.2	100.1	102.9
		12—13½	100.4	99.8	100.8	100.2	100.5	85.4

Taulukko 16. Latvamuotolukujen avulla saatu todellinen kiintomitta verrattuna mittausten mukaiseen todelliseen kiintomittaan eri osa-alueilla. 14—17 jalkaiset tukit kaikkien tukkien aineistossa.

Table 16. Actual solid volume calculated by means of top form factors compared with the actual solid volume in accordance with measurements in different part areas. 14—17 ft. logs in the material of all logs.

Alue *District*	D_1'' D_t''	Mänty — *Pine*			Kuusi — *Spruce*		
		Latvamuotolukujen avulla saatu kiintomitta % mittauksiin perustuvasta kiintomitasta *Solid volume obtained by means of top form factors in per cent of solid volume in accordance with measurements*					
		Osa-alue — *Part area*					
		Lounais-osa *South-western part*	Kaakkois-osa *South-eastern part*	Pohjois-osa *Northern part*	Lounais-osa *South-western part*	Kaakkois-osa *South-eastern part*	Pohjois-osa *Northern part*
Etelä-Suomi *South Finland*	6— 7½	99.6	99.4	100.1	100.7	99.3	100.0
	8— 9½	99.0	100.4	100.9	100.6	100.7	98.6
	10—11½	100.1	101.2	100.6	101.3	101.0	99.7
		Osa-alue — *Part area*					
		Eteläosa *Southern part*	Pohjoisosa *Northern part*		Eteläosa *Southern part*	Pohjois osa *Northern part*	
Pohjois-Suomi *North Finland*	6— 7½	98.6	100.6		101.3	98.5	
	8— 9½	99.7	100.1		102.0	97.9	
	10—11½	100.3	100.0		102.0	98.0	

tauksien mukaisesta kiintomitasta. Laitasuuruuksien kohdalla taulukossa esiintyy hyvinkin huomattavia eroja. Kun näissä kuitenkaan tuskin on havaittavissa mitään johdonmukaista suuntautumista ja kun sadannekset keskeisimpien suuruusluokkien kohdalla lähentelevät arvoa 100.0, voitaneen taulukoiden katsoa soveltuvan aineiston kiintomitan määrittämiseen tyydyttävästi.

Taulukoiden alueellisen soveltuvuuden selvittämiseksi edelläkuvattu menettely on suoritettu osa-alueittain. Kiintomittain vertailussa on kuitenkin rajoituttu vain kaikkien tukkien 14—17-jalkaisiin 6—11½-tuumaisiin tukkeihin. Tämä vertailu on esitetty taulukossa 16.

Taulukoiden osa-alueittainen soveltuvuus on heikoin Pohjois-Suomen kuusitukkiaineistossa. Eteläosan aineistossa on latvamuotolukuja käyttäen saatu mittausten mukaista kiintomittaa selvästi suurempi ja pohjoisosan aineistossa sitä selvästi pienempi kiintomitta. Havainto on yhtäpitävä 16-jalkaisten tyvitukkien kapenemistarkastelun kanssa (sivu 29).

Muut osa-alueiden väliset erot ovat siksi pieniä, että taulukoiden voidaan katsoa tässä tarkastelluilta osiltaan soveltuneen tyydyttävästi myös osa-alueittaiseen kiintomitan laskemiseen.

Arvosteltaessa taulukoiden soveltuvuutta tutkimusaineiston ulkopuolella Etelä- ja Pohjois-Suomen suurille aluekokonaisuuksille on toisaalta kiinnitettävä huomiota siihen, kuinka hyvin aineisto edustaa näiden alueiden eri osia ja toisaalta eri osien välisiin eroavuuksiin. Taulukossa 13 esitetty alueellisen edustavuuden yleiskuva ja nyt havaittavat osa-alueiden väliset eroavuudet huomioiden voidaan päätellä, että alueellisessa edustavuudessa olevat virheet vaikuttavat vain hyvin niukasti latvamuotolukuihin. On ilmeistä, että ne eivät esitystarkkuuden puitteissa useimmissa tapauksissa vaikuta niihin lainkaan.

324. Taulukoiden käytöstä ja niiden luotettavuudesta

Taulukot soveltuvat parhaiten pituuden ja latvaläpimitan mukaan lajiteltujen tukkien todellisen kiintomitan määrittämiseen. Niitä voidaan kuitenkin käyttää myös silloin kun tunnetaan esim. tietyn tukkierän teknillinen kuutiomäärä, kappalemäärä ja keskipituus. Keskipituuden lisäksi on keskimääräinen latvaläpimitta laskettavissa ja todellinen kiintomitta saadaan kertomalla näitä keskitukin mittoja vastaavalla latvamuotoluvulla tukkierän teknillinen kiintomitta. Tätä menetelmää sovellettiin aineistosta arvottuihin eriin ja todettiin, että sen avulla saatiin keskimäärin suuruusluokittaista kiintomittaa hieman pienempi kiintomitta. Tämä oli odotusten mukainen tulos. Latvaläpimittaluokittain piirretyt latvamuotolukukäyrät ovat nimittäin huomattavalta osalta alaspäin kuperia ja kun keskitukin latvamuotoluku asettuu tällaisen käyrän keskivaiheille, näyttää ilmeiseltä, että se on koko luokan keskimääräiseksi latvamuotoluvuksi liian pieni. Tosin on otettava huomioon latvamuotolukujen ja pituuden välinen riippuvuus, mutta summittaisesti voidaan päätellä, että mahdollisesti tasoittava vaikutus ei täytä edellämainittua eroa.

Keskitukin latvamuotoluvun käyttöä kokeiltiin myös sahalaitoksilta saatujen pituus- ja latvaläpimittajakautumat sisältäneiden tukkiaineistojen kiintomitan laskemisessa. Tulokset on esitetty taulukossa 17.

Tulokset vahvistavat tutkimusaineistossa suoritettujen kokeilujen tuloksia. On ilmeistä, että keskitukin latvamuotolukua käytettäessä saadaan keskimäärin jonkin verran liian pieni kiintomitta. Eron suuruus riippuu toisaalta latvamuotolukusarjojen ja toisaalta tukkien suuruusluokkajakautuman rakenteesta. Taulukoissa Etelä-Suomen kuusitukeilla esiintyvä ero on suurempi kuin muut erot, jotka puolestaan ovat suunnilleen samansuuruisia. Tähän voi olla syynä taulukoiden rakenteen erilaisuus, mutta se voi johtua myös siitä, että käsitellyn tukkiluettelon suuruusluokkajakautuma on ollut juuri Etelä-Suomen kuusitukeilla tuloksen kannalta poikkeuksellisen epäedullinen.

Taulukko 17. Suuruusluokittain lasketun kiintomitan ja keskitukin latvamuotolukua vastaavan kiintomitan ero käytännön aineistossa.

Table 17. The differences in the practical material between solid volume calculated by size class and the solid volume corresponding to the top form factor of the mean log.

Alue *District*	Puulaji *Tree species*	Tukkeja 1 000 kpl *Logs 1 000 units*	Keski-pituus, j *Mean length, feet*	Keskim. D_1'' *Mean* D_t''	Keski-kuutio, j^3 *Mean volume, cu. ft.*	[1]
Etelä-Suomi *South Finland*	Mänty — *Pine*	3 566	16.1	7.3	4.68	—0.6
	Kuusi — *Spruce*	1 342	16.2	7.5	5.00	—1.5
Pohjois-Suomi *North Finland*	Mänty — *Pine*	1 102	15.4	8.4	5.91	—0.5
	Kuusi — *Spruce*	305	14.3	7.7	4.63	—0.5

[1]) Kiintomittain ero % suuruusluokittain lasketusta kiintomitasta.
The difference of the solid volumes in per cent of the solid volume calculated by size class.

Luotettavuuslaskelmia taulukoiden käyttöä varten ei ole tehty, koska näiltä laskelmilta veisivät pohjan monet niihin liitettävät varaukset. Tässä on vain viitattava aikaisemmin esitettyyn tarkasteluun taulukoiden soveltuvuudesta koko aineistoon ja osa-alueiden aineistoihin nähden. On selvää, että mitä suuremmista tukkimääristä ja mitä laajemmista aluekokonaisuuksista on kysymys sitä paremman tuloksen taulukot antavat. Taulukoiden käyttökelpoisuutta tarkasteltaessa on myös aikatekijä otettava huomioon. Mitä »vanhemmaksi» taulukot tulevat sitä enemmän saattavat tietyt suuntaukset metsien käsittelyssä ja tukkien apteerauksessa aiheuttaa poikkeuksia.

Hajonnalla erien latvamuotoluvuissa on sitä suurempi merkitys mitä pienemmistä eristä on kysymys. Seuraavassa asetelmassa on esitetty esimerkkejä latvamuotolukujen hajonnasta kaikkien tukkien eri osa-aineistoissa. Kyseisistä suuruusluokista arvottiin 25 tukin erät, joiden variaatiokertoimet laskettiin.

Puulaji	D_1''	Etelä-Suomi			Pohjois-Suomi		
		Pituus jalkaa					
		14	15	18	14	15	18
		Variaatiokerroin					
Mänty	6		9.6			10.7	
»	8	8.5	7.6	6.4	13.8	10.0	6.4
»	9½		6.3			7.6	
Kuusi	6		10.9			8.2	
»	8	8.2	7.2	6.8	8.8	11.9	9.3
»	9½		7.5			9.8	

Asetelmasta tuskin voidaan tehdä johtopäätöksiä läpimitan tai pituuden vaikutuksesta hajontaan. Odotusten mukaisesti pitäisi hajonnan pienetä latvaläpimitan suurentuessa. Tämäntapaista riippuvuutta asetelmastakin

voitaneen havaita. Näiden esimerkkien mukaan näyttäisi hajonta pienenevän myös pituuden lisääntyessä. Tämä johtunee osittain siitä, että tässä kaikkien tukkien aineistossa väli-latvatukkien osuus vähenee pituuden suurentuessa. Pohjois-Suomen aineiston variaatiokertoimet ovat kahta lukuparia lukuunottamatta suuremmat kuin Etelä-Suomen aineistossa. Tuntuukin luonnolliselta, että Pohjois-Suomen alueella tukkien muoto vaihtelee enemmän kuin Etelä-Suomessa, koska varsinkin kasvupaikkaolosuhteiden vaihtelu voitaneen katsoa Pohjois-Suomessa suuremmaksi.

Käytännön tukkierissä on muotolukujen hajonta todennäköisesti useimmissa tapauksissa pienempi kuin tutkimusaineistossa. On ilmeistä, että mitä vähäisemmät ovat tukkipuuston iän, käsittelyn ja kasvupaikkaolosuhteiden vaihtelut sitä vähäisempi on myös latvamuotolukujen hajonta.

33. Latvamuotoluvun ja laadun välinen riippuvuus

Kuten aikaisemmin on jo mainittu, jouduttiin aineiston keräyksessä laatuluokituksesta joissakin tapauksissa luopumaan mittausolosuhteiden vuoksi. Pohjois-Suomen aineistossa suoritettiin laatuluokitus kuitenkin koko aineistossa ja Etelä-Suomen aineistostakin laatuluokitettiin n. 96 %. Laatuluokitettujen tukkien jakautuminen laatuluokkiin näkyy seuraavasta asetelmasta.

	Etelä-Suomi				Pohjois-Suomi			
	I	II	III+R	yht.	I	II	III+R	yht.
	% kappalemäärästä							
Mä tyvet	43	34	23	100	16	37	47	100
» väli-latvatukit	7	25	68	100	1	17	92	100
» kaikki	27	31	42	100	12	28	60	100
Ku tyvet	39	40	21	100	5	32	63	100
» väli-latvatukit	8	38	54	100	—	11	89	100
» kaikki	28	39	33	100	4	27	69	100

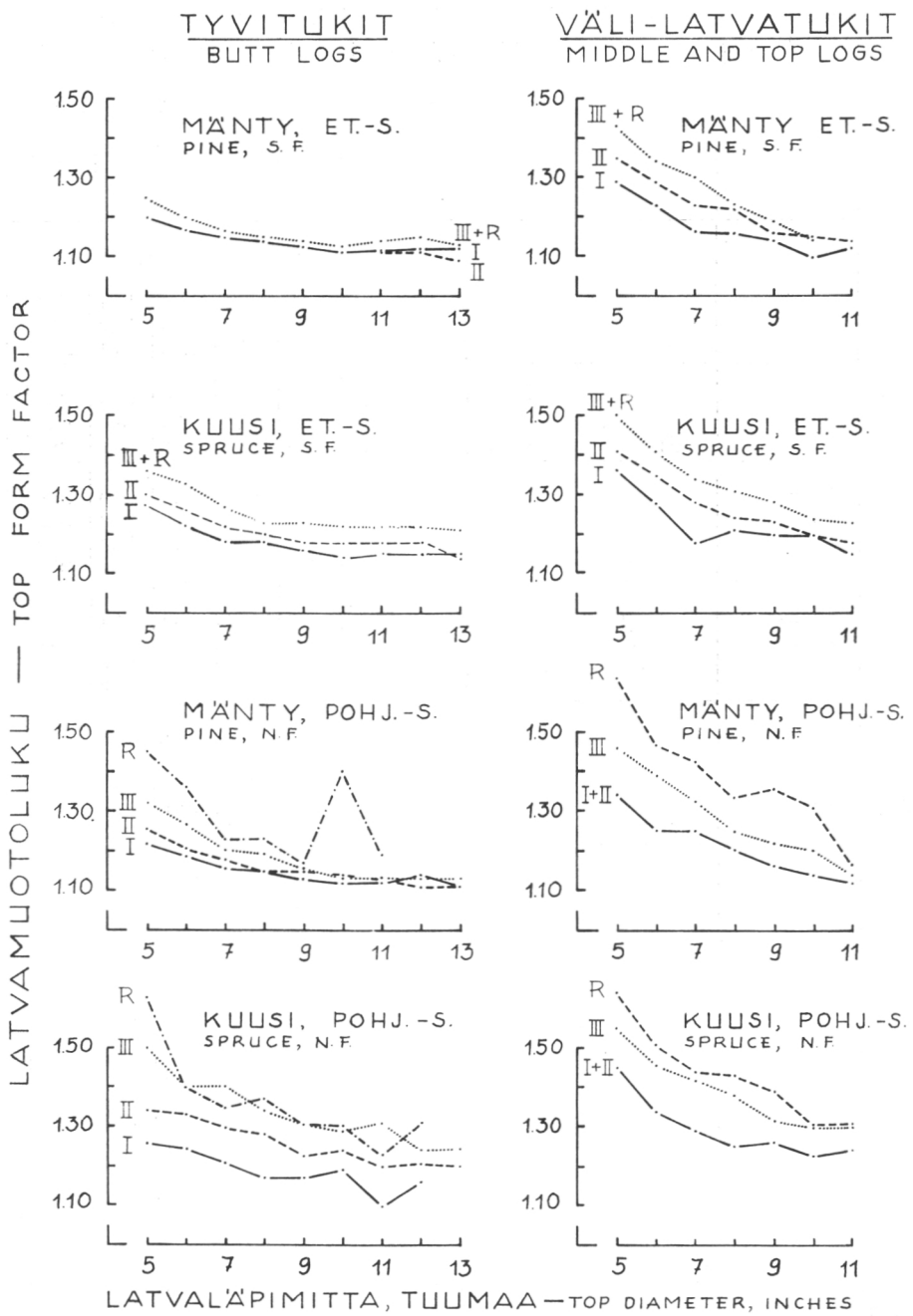
Koska laatuluokitus jouduttiin suuressa osassa aineistoa suorittamaan suuripiirteisesti, ja koska luokitusta suorittivat eräiltä osin siihen vain vähän tottuneet henkilöt, on esitettyyn jakautumaan suhtauduttava jossain määrin varauksellisesti. Sitäpaitsi on huomattava, niinkuin aikaisemminkin on tuotu esille, että aineisto ei vastaa käytännön suuruusluokkajakautumaa, mikä puolestaan vaikuttanee laatuluokkajakautumaan. Varsinaisena laatuluokituksen tarkoituksena tässä tutkimuksessa on kuitenkin ollut latvamuotoluvun ja laadun välisen riippuvuuden selvittäminen. Laatuluokituksessa mahdollisesti tapahtuneet virheet ja tulkintaerot vaikuttavat luonnollisesti jossain määrin tässäkin saataviin tuloksiin, mutta pääsuuntaviivat tulevat kuitenkin näkyviin. Kyseinen selvitys suoritettiin latvaläpimitta-

Taulukko 18. 14—18-jalkaisten tukkien keskipituus eri laatuluokissa.
Table 18. Mean length of 14—18 ft. logs in different log grades.

Alue *District*	Puulaji *Tree species*	Laatuluokka *Log grade*	Latvaläpimitta tuumaa — *Top diameter inches*								
			5	6	7	8	9	10	11	12	13
			Keskipituus, jalkaa — *Mean length, feet*								
			Tyvitukit — *Butt logs*								
Etelä-Suomi *South Finland*	Mänty *Pine*	I	15.6	15.8	15.9	15.9	15.9	16.2	16.1	15.7	15.7
		II	16.1	16.2	16.0	16.2	16.2	16.3	16.0	16.0	15.9
		III+R	16.0	16.1	16.1	16.2	16.3	16.3	16.1	15.9	16.1
	Kuusi *Spruce*	I	15.7	16.4	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	15.9	16.2
		II	15.8	16.3	16.2	16.2	16.1	16.3	16.1	15.8	15.8
		III+R	16.3	16.2	16.1	16.0	15.8	16.0	15.7	15.4	15.6
Pohjois-Suomi *North Finland*	Mänty *Pine*	I	16.7	16.0	15.9	16.0	15.9	15.8	15.9	15.9	16.6
		II	16.6	16.7	16.2	15.9	15.4	15.8	15.8	15.8	16.0
		III	16.3	16.3	15.9	15.7	15.8	15.7	15.5	15.9	15.3
		R	16.0	15.4	15.7	15.9	15.3	16.3	15.4	16.2	16.0
	Kuusi *Spruce*	I	16.0	16.6	16.8	15.9	16.1	15.6	15.4	16.4	—
		II	15.8	16.0	16.7	16.2	15.9	16.0	15.6	15.7	—
		III	15.8	16.3	15.9	16.0	15.7	15.5	15.5	15.4	—
		R	15.6	16.1	16.1	15.8	15.3	15.5	16.0	15.6	—
			Väli-latvatukit — *Middle and top logs*								
Etelä-Suomi *South Finland*	Mänty *Pine*	I	15.8	15.5	15.5	15.8	16.3	15.4	15.6	—	—
		II	15.5	15.7	15.9	15.9	15.8	15.7	15.3	—	—
		III+R	15.6	15.6	15.6	15.8	15.4	15.3	15.8	—	—
	Kuusi *Spruce*	I	15.8	16.1	15.5	16.1	15.8	15.9	15.0	—	—
		II	15.7	15.8	15.8	15.8	15.9	15.6	15.6	—	—
		III+R	15.4	15.7	15.6	15.5	15.5	15.7	15.7	—	—
Pohjois-Suomi *North Finland*	Mänty *Pine*	I+II	15.6	16.1	16.1	15.5	15.3	15.2	15.1	—	—
		III	15.8	15.6	15.4	15.3	15.2	14.9	15.1	—	—
		R	15.3	15.3	15.0	15.8	14.9	14.5	14.8	—	—
	Kuusi *Spruce*	I+II	15.1	15.4	16.1	15.5	15.3	15.0	15.3	—	—
		III	15.9	16.0	16.0	15.6	15.7	15.2	15.5	—	—
		R	14.9	15.6	15.8	15.5	14.9	15.9	15.1	—	—

luokittain pituusluokkien 14—18′ muodostamissa tukkierissä. Aineiston niukkuuden vuoksi on Etelä-Suomen aineistossa sahauskelvottomien luokka eli »raakit» yhdistetty luokkaan III. Samasta syystä on Pohjois-Suomen väli-latvatukeissa yhdistetty luokat I ja II.

Koska tukkierän keskimääräinen latvamuotoluku on riippuvainen tukkierän keskipituudesta, laskettiin vertailtavien latvaläpimittaluokkien keskipituudet. Ne on esitetty taulukossa 18. Keskipituuden ja laadun välistä



Piirros 4. Latvamuotoluvut eri laatuluokissa (R = sahauskelvottomat).

Figure 4. Top form factors in different log grades (R = logs unsuitable for lumber production)

riippuvuutta ei miltään osin voida pitää selvänä. Etelä-Suomen mäntytyvillä näyttää keskipituus tosin hieman suurenevan laadun huonontuessa, kun taas Etelä-Suomen kuusityvillä voitaneen havaita suunnaltaan päinvastaista riippuvaisuutta. Keskipituuksien erot ovat kaikilta osin joka tapauksessa niin vähäisiä, että ne voidaan jättää huomioon ottamatta tarkasteltaessa laatuluokkien välisiä latvamuotolukujen eroja.

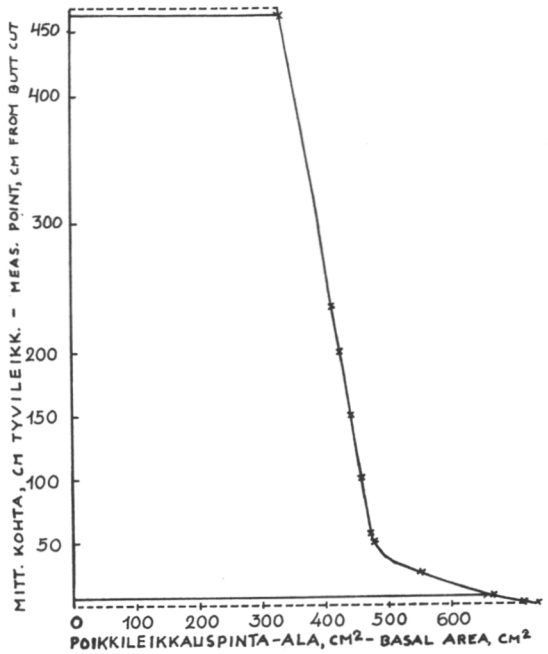
Siimeksen (1962) esittämästä laatuluokittaisesta tukkien pituusjakautumasta voidaan päätellä, että hyvälaatuiset tukit ovat olleet jonkin verran huonolaatuisia pitempiä. On kuitenkin huomattava, että kyseinen aineisto koskee kaikkia tukkeja. On ilmeistä, että myös käsillä olevassa aineistossa on olemassa tällainen riippuvuus, jos tyvitukit ja väli-latvatukit yhdistetään.

Latvamuotoluku suurenee laadun huonontuessa (piirros 4) lukuunottamatta Etelä-Suomen mäntytyviä, joilla luokkien I ja II latvamuotoluvut ovat likipitäen samat luokan III latvamuotolukujenkin erotessa edellisistä vain vähän. Muissa osissa aineistoa erot ovat huomattavan suuret. Monissa kohdin äärimmäisten luokkien välillä todetaan yli 10 % eroja. Selvyyden vuoksi mainittakoon, että latvamuotolukujen suhteet ovat samat kuin vastaavien kiintomittain suhteet. Tietyssä latvaläpimittaluokassa siis huonolaatuiset tukit sisältävät keskimäärin enemmän puuta kuin hyvälaatuiset tukit. Tämä on odotusten mukainen toteamus, koska oksaisuus ja voimakas kapeneminen ovat usein samalle rungolle kuuluvia ominaisuuksia oksaisuuden näytellessä puolestaan huomattavinta osaa laadun määräytymisessä.

34. Tarkan kiintomitan ja todellisen kiintomitan välinen ero

Tyvitukkien tarkan kiintomitan ja todellisen kiintomitan välistä eroa tutkittiin koetyviaineiston avulla (siv. 9). Tarkan kiintomitan määrittämisessä käytettiin Bal Sieu Ramdial'in (1963) esittämän menetelmän sovellutusta. Käytetty sovellutus on lyhyesti kerrottuna seuraava.

Millimetripaperille merkitään sopivaa mittakaavaa käyttäen akselistoon asteikot tukin poikkileikkauspinta-alaa ja tukin pituutta varten. (Piirros 5). Poikkileikkauspinta-ala-asteikko sijoitetaan x-akselille ja pituusasteikko y-akselille. Merkitään koordinaatistoon poikkileikkauspinta-alat tukin eri kohdilta siten, että abskissana on kyseinen poikkileikkauspinta-ala ja oordinaattana sitä vastaava mittauskohta. Piirretään käyrä näiden pisteiden kautta, jolloin saadaan tukin poikkileikkauspinta-aloja sen eri kohdilla esittävä kuvaaja. Kun latvan poikkileikkauspinta-alaa edustavan pisteen kautta piirretään normaali y-akselille, sulkeutuu kuvio, jonka pinta-ala edustaa tukin tilavuutta. Jokaista kuvion pinta-alayksikköä nimittäin edustaa kyseisessä tukissa tietty poikkileikkauspinta-alan ja pituuden osa,



Piirros 5. Tyvitukin tilavuuden graafinen määrittäminen.
Figure 5. Graphical determination of the volume of butt log

joiden tulo on tätä yksikköä vastaava tilavuus. Tämä tilavuus määräytyy käytettyjen mittakaavojen mukaan. Kun se kerrotaan kuvion pinta-alalla, saadaan kyseisen tukin tilavuus.

Jokaisen koetyven tilavuus määritettiin tällä menetelmällä. Koska tyvitukkien tyviosassa on juurenniskan aiheuttamia harjanteita, ovat läheltä tyvileikkausta mitatut läpimitat ja niinollen myös piirroksista saadut tilavuudet hieman liian suuria. Virhettä vähentää se, että piirroksista erotettiin pois tasausvara, jolloin osa poikkileikkaukseltaan epämääräisintä osuutta jäi laskelmien ulkopuolelle.

Väli-latvatukeista ei ollut mitattu koetyviä vastaavaa aineistoa koska katsottiin, että niiden todellinen kiintomitta oli hyvin lähellä tarkkaa kiintomittaa. Tätä olettamusta kuitenkin tarkistettiin käytettävissä olevien mittausten avulla käyttäen tässäkin kyseistä piirtämismenettelyä. Piirroksia ei tehty kuitenkaan yksityisistä tukeista, vaan kapenemistarkastelun yhteydessä esitettyä luokitusta (kts. sivu 29) vastaavista keskitukeista. Näistä jouduttiin poikkileikkauspinta-aloja esittävä viiva piirtämään vain kolmen pisteen kautta, koska mittaukset oli suoritettu vain keskeltä ja molemmista päistä.

Koska tarkasteltavana olevien kiintomittain suhteen ja tukkien pituuden välinen riippuvuus todettiin vähäiseksi, suoritettiin laskelmat ottamatta pituutta huomioon. Sen jälkeen laskettiin kussakin latvaläpimittaluokassa

Taulukko 19. Tarkan kiintomitan suhde todelliseen kiintomittaan.

Table 19. Ratio of exact solid volume to actual solid volume.

Alue *District*	Puulaji *Tree species*	Tukkilaji *Log type*	[1]	Latvaläpimitta, tuumaa — *Top diameter, inches*								
				5—5½	6—6½	7—7½	8—8½	9—9½	10—10½	11—11½	12—12½	13—13½
Etelä-Suomi *South Finland*	Mänty — *Pine*	Tyvitukit — *Butt logs*	1	15	33	81	79	67	44	39	11	13
			2	1.01	1.03	1.03	1.04	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
		Väli-latvatukit *Middle and top logs*	2	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	—
		Kaikki tukit *All logs*	2	0.99	1.01	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05	1.05	1.05
	Kuusi — *Spruce*	Tyvitukit — *Butt logs*	1	4	45	75	79	46	35	21	14	5
			2	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05
		Väli-latvatukit *Middle and top logs*	2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	—
		Kaikki tukit *All logs*	2	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.04	1.04	1.05
Pohjois-Suomi *North Finland*	Mänty — *Pine*	Tyvitukit — *Butt logs*	1	21	44	65	62	24	72	39	26	10
			2	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05
		Väli-latvatukit *Middle and top logs*	2	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	—
		Kaikki tukit *All logs*	2	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04
	Kuusi — *Spruce*	Tyvitukit — *Butt logs*	1	16	69	76	68	63	36	29	17	10
			2	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
		Väli-latvatukit *Middle and top logs*	2	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	—
		Kaikki tukit *All logs*	2	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03

[1]) 1 Koetyviä, kpl — *Prove butts, units*
2 Tarkan kiintomitan suhde todelliseen kiintomittaan — *Ratio of exact solid volume to actual solid volume*

kiintomittain suhde. Suhdeluvut tasoitettiin käsivaraisesti. Tasoitetut suhdeluvut on esitetty taulukossa 19. Kaikkien tukkien suhdeluvut ovat tyvitukkien ja latva-välitukkien tasoitettujen suhdelukujen tukkimäärillä painotettuja keskiarvoja.

Tyvitukeilla tarkka kiintomitta on todellista kiintomittaa suurempi. Sama pätee Etelä-Suomen väli-latvatukkien järeämpiin tukkeihin; pieniläpimittaisilla tukeilla kiintomitat ovat likipitäen saman suuruiset. Pohjois-Suomen männyn väli-latvatukeilla todellinen kiintomitta on saatu tarkkaa kiintomittaa suuremmaksi lukuunottamatta kaikkein järeimpiä tukkeja. Pohjois-Suomen kuusen väli-latvatukeilla taas tarkka kiintomitta näyttää olevan suurempi pieniläpimittaisilla tukeilla. Kaikilla tukeilla on tarkka kiintomitta todellista kiintomittaa suurempi paitsi pieniläpimittaisia Etelä-Suomen mänty- ja kuusi- sekä Pohjois-Suomen mäntytukkeja.

Lukuunottamatta Pohjois-Suomen kuusen tyviä ja väli-latvatukkeja kiintomittain suhde suurenee latvaläpimitan suuretessa. Tyvitukeilla ja kaikilla tukeilla tämä riippuvuus on kuitenkin selvemmin nähtävissä kuin väli-latvatukeilla. Pohjois-Suomen kuusitukkien aineistossa haittaa hajonta johtopäätöksen tekoa kaikkein eniten, mutta näyttää siltä, että sillä on latvaläpimitan ja kiintomitan suhteen välinen riippuvuus vain vähäinen.

Edellä jo mainitussa komiteamietinnössä Vid virkesmätning... (1923) on eri tukkilajeille laskettu ns. keskusmuotoluku (mittformtal), mikä vastaa käsiteltyä kiintokuutioiden suhdetta. Nämä muotoluvut on esitetty taulukossa 20, mistä havaitaan, että suhdelukujen riippuvuus latvaläpimitasta on saatu samansuuntaiseksi kuin käsillä olevassa tutkimuksessakin. Suhdelukujen suuruuden vertailussa on otettava huomioon ajalliset ja paikalliset erot.

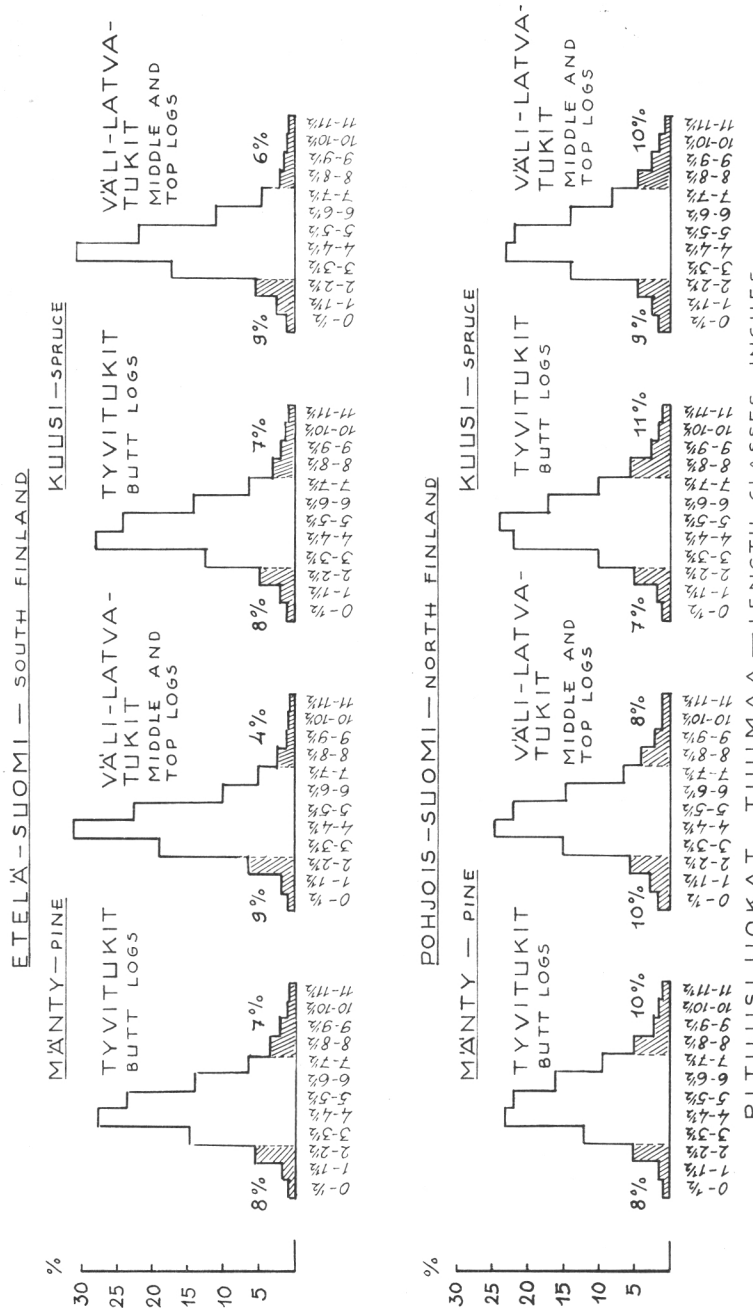
Taulukko 20. Keskusmuotoluvut (mittformtal) Vid virkesmätning erforderliga relationstal (1923) mukaan.

Table 20. Form factors by diameter at middle (mittformtal) according to Vid virkesmätning erforderliga relationstal (1923).

		Latvaläpimittaluokka, cm *Top diameter class, cm*									
		10	13	16	19	22	25	28	31	34	37+
Mänty — *Pine*	Tyvet — *Butt logs*	0.99	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.05	1.06	1.06	1.07
	Välitukit — *Middle logs*	—	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03
	Latvatukit — *Top logs* ..	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03
	Kaikki tukit — *All logs*	0.99	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.06
Kuusi — *Spece*	Tyvet — *Butt logs*	1.00	1.00	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04
	Välitukit — *Middle logs*	—	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03
	Latvatukit — *Top logs* ..	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	—
	Kaikki tukit — *All logs*	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04

35. Tasausvaran pituus

Tasausvaran pituuden jakautuminen pituusluokkiin on esitetty piirroksessa 6, jossa puolen tuuman luokat on pareittain yhdistetty.



Piirros 6. Tasausvaran jakautuminen pituusluokkiin.
Figure 6. Distribution of allowance into length classes.

Kaikissa osa-aineistoissa on luokan 4—4½″ osuus suurin ja luokan 5—5½″ osuus toiseksi suurin lukuunottamatta Pohjois-Suomen kuusityviä, joilla näiden luokkien järjestys on päinvastainen. Etelä-Suomen aineistossa näihin kahteen luokkaan kuuluu yhteensä yli puolet ja Pohjois-Suomen aineistossa vajaat puolet aineistosta. Mikäli näiden luokkien katsotaan edustavan tasausvaran tavoitepituutta, voidaan Pohjois-Suomen tukkeja näinollen pitää tasausvaran suhteen huonommin apteerattuina tai katkottuina. Piirroksessa on esitetty myös luokkien 0—2½″ ja 8—11½″ yhteiset sadannesosuudet. Lyhyiden tasausvarojen ryhmän osuus on Etelä- ja Pohjois-Suomen aineistoissa suunnilleen yhtä suuri. Ylipitkäksi katsottavia tasausvaroja sen sijaan on Pohjois-Suomen aineistossa huomattavasti enemmän.

Seuraavassa asetelmassa on esitetty tasausvarojen keskimääräiset pituudet eri osa-aineistoissa.

		Tasausvaran pituus, tuumaa		
		Tyvet	Väli-latvatukit	Kaikki tukit
Etelä-Suomi	Mänty	4.9	4.6	4.8
»	Kuusi	5.0	4.8	4.9
Pohjois-Suomi	Mänty	5.3	5.1	5.2
»	Kuusi	5.4	5.2	5.3

Tasausvara on kuusella ollut pitempi kuin männyllä, tyvillä pitempi kuin väli-latvatukeilla ja Pohjois-Suomessa pitempi kuin Etelä-Suomessa.

Tasausvaran pituuden riippuvuutta tukkien latvaläpimitasta ja pituudesta tutkittiin jakamalla aineisto kolmeen latvaläpimittaluokkaan ja viiteen pituusluokkaan. Tyvillä ja väli-latvatukeilla ei kyseistä riippuvuutta voitu havaita, mutta kaikkien tukkien aineistossa järeimmillä ja pisimmillä tukeilla tasausvara oli hieman pitempi kuin muilla tukeilla. Tämä johtuu siitä, että pitkät ja järeät tukit ovat pääasiassa tyvitukkeja, joiden tasausvara edellä todettiin muiden tukkien tasausvaraa pitemmäksi.

Eklund (1950) on myös todennut tyvitukeilla olleen pitemmän tasausvaran kuin väli-latvatukeilla ja kuusitukeilla pitemmän kuin mäntytukeilla. Pisin osa-aineistoittain laskettu keskimääräinen tasausvaran pituus on ollut kuusityvien 5.7″ ja lyhin männyn latvatukkien 5.1″.

Nylinder (1961) on selvittänyt havusahatukkien tasausvaran optimipituutta. Taloudellisesti edullisimmaksi pituudeksi hän on todennut noin 6 tuumaa ja epäedullisimmaksi noin 2 tuumaa edellyttäen, että sahatavaraan jätetään noin yhden tuuman ylimitta. Kyseisen tutkimusaineiston tasausvaran aritmeettiseksi keskipituudeksi on saatu 11.6 cm.

Kirjallisuusluettelo

Archer, Erling. 1920. Om tømmerets form i Glommens og Drammens vasdrag. Meddelelser fra Det Norske Skogsforsøksvesen. Hefte 1. ss. 57—113. Oslo.

Eide, Erling. 1922. Om tømmerets form i Trøndelags vasdrag. Meddelelser fra Det Norske Skogsforsøksvesen. Hefte 2. ss. 29—71. Oslo.

Eklund, Bo. 1950. Relationstal för transformering av toppmätt volym sågtimmer av tall och gran till verklig kubikmassa. Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitut. Band 38: 2. ss. 1—39. Stockholm.

Heiskanen, Veijo ja Siimes F. E. 1960. Ehdotus mänty- ja kuusisahatukkien laatuluokitukseksi. Suomen Puutalous N:o 10. Helsinki.

Ilvessalo, Yrjö. 1957. Suomen metsät päävesistöalueittain. Valtakunnan metsien inventoinnin tuloksia. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 47: 4. ss. 46—47. Helsinki.

Kiintomittataulukot 1929. Keskusmetsäseura Tapio. Helsinki.

Makkonen, Olli. 1962. Rungon tai pölkyn määrittäminen graafisesti. Metsätehon katsaus N:o 32. Helsinki.

Nylinder, Per. 1961. Om justermånens längd hos sågtimmer. Kungl. Skogshögskolan — Institutionen för virkeslära. Uppsatser Nr R. 29. Stockholm.

Puutavaramittauskomitean mietintö. Report of the timber scaling committee. Komiteanmietintö N:o 165. Helsinki 1965.

Rinkinen, Ilmo. 1961. Suomen sahateollisuuden tuotantokyky. Sahamies 8/1961. 250—253. Helsinki.

Ramdial, Bal Sieu. 1963. Graphic determination of the cubic volume of a felled tree. Canadian Pulp and Paper Association. Woodlands Section. Montreal.

Siimes, F. E. 1962. Tukkien koon, muodon ja laadun sekä sahausasetteen vaikutus sahaustulokseen. Paperi ja Puu 1/1962 ss. 3—16. Helsinki.

Vid virkesmätning erforderliga relationstal. 1923. Statens offentliga utredningar. Stockholm.

TOP FORM FACTORS OF SOFTWOOD SAW LOGS

Summary

1. Introduction

The formulation of new top form factors has been deemed necessary as changes have occurred in the making of trees into logs and probably also in the age and size of saw timber trees since the compilation of the top form factor tables contained in the K i i n t o m i t t a t a u l u k o t (Tables of Solid Contents) 1929.

In the present study, the top form factors were calculated by using unbarked solid volume, which corresponds to the log diameter at middle, as the actual solid volume. The top form factors presented are inclusive of the correction factors caused by 5-inch allowance and by downward rounding off of the top diameter to an accuracy of half an inch.

In addition to the compilation of top form factors, a study was made of the tapering of the logs. Moreover, the difference between the exact solid volume and the solid volume which corresponds to the middle diameter, the correlation between log quality and top form factor, and the allowance of logs were studied.

In addition to the investigation material, statistical material was collected from various sawmills concerning top diameter and length distribution. From these data, the mean length and mean volume of logs and the distribution series were calculated and compared with the corresponding figures and series for the investigation material.

2. Material

21. Measurements and estimates

The log lengths were measured in full feet and the allowance rounded off to the nearest ½ inch.

The log diameters were measured at the butt, middle and top. The top diameters of all logs and the butt diameters of middle and top logs were measured half way along the allowance. The butt diameters of butt logs were taken from the start of the root swelling in the material from southern Finland and at 65 cm from the butt cut in the material from northern Finland. The bark thickness was measured for unbarked logs.

Besides the diameters mentioned above, diameters were measured at 0, 5, 25, 50, 100 and 150 cm from the butt cut in approximately every tenth barked butt log.

The logs were graded according to the recommendation of 1960 (H e i s k a n e n and S i i m e s).

22. Amount of the material and the proportion of butt logs

For southern Finland the pine material consisted of 8 441 logs and the spruce material of 8 679 logs. The corresponding figures for northern Finland were 6 666 and 5 413 (Tables 1—4). Butt logs accounted for 57 per cent of the southern Finnish pine

and spruce materials, for 68 per cent of the pine and 75 per cent of the spruce material from northern Finland. Butt logs were relatively most numerous among large-sized long logs and fewest among short, small-sized logs (Table 5).

23. Mean lengths, mean volumes and size-class distributions of logs sawn at sawmills and of the investigation material

A number of sawmills in different parts of the country were asked to send information on the length and top diameter distribution of logs sawn during the year. Data for the calendar year 1964 or the sawing season 1963—1964 were obtained from 35 sawmills as regards top diameter distribution and from 11 sawmills as regards length distribution. This material is called the »practical material». The sawmills in question were either large or medium-sized sawmills.

The mean volume of the logs of the practical material was 4.81 cu.ft. for pine and 4.96 cu.ft. for spruce from southern Finland. The corresponding figures for northern Finland were 5.25 and 4.84 cu.ft. The mean length was 16.0 ft. for both pine and spruce logs in southern Finland. For northern Finland, the pine logs had a mean length of 15.7 and the spruce logs of 15.6 ft.

For southern Finland, the mean volume of pine logs in the investigation material was 5.58 cu.ft. and that of spruce logs 5.82 cu.ft. The mean length of pine logs was 15.7 ft. and spruce logs 16.2 ft. The corresponding figures for the northern Finland material were 7.07 and 5.90 cu.ft., and 15.5 and 15.8 ft.

The top diameter and length distributions of the investigation material and practical material were similar on the whole (Tables 9—11). Large-sized logs were slightly more numerous in the investigation than in the practical material. The spruce log distributions of the practical material for northern Finland differ most from the distributions of other materials. The top diameter distribution is characterised by concentration in a few classes, and in the length distribution over a half of the running feet lengths belong to the 13 ft. class.

24. Measuring sites and regional representativeness of the investigation material

The measurements were made in the vicinity of the sawmills. The majority of them were performed at sawmill log ponds, a smaller proportion at conveyors or on the ground.

The sawmills serving as measuring sites were in different parts of Finland (Table 12). To establish the regional representatives of the investigation material, the southern Finland material was divided into three and the material for northern Finland into two water system areas. The proportion of butt logs in the total material of each regional group was compared in three size classes with the proportion of saw timber trees according to the Third National Forest Inventory (Table 13). The distributions show some similarity, but also reveal considerable differences. It was not possible to use the comparison in the compilation of the weight figures because of the numerous factors of uncertainty involved.

3. Investigation results

31. Tapering

Butt tapering refers to taper from the log butt to its middle, top tapering means taper from the middle to the top.

The tapering differences between the part areas were examined for logs 16 ft. long and 6—9½ in. thick. A statistically significant difference was established in spruce butts between the northern and southern parts of northern Finland. The spruce butts of the northern part had distinctly more taper than those of the southern part.

For the study of tapering the total material was divided into three length classes (10—14, 15—16 and 17—22 ft.). Top diameter classification was carried out by rounding off the top diameters downwards to the nearest inch. Tapering per running metre was calculated in the classes thus formed (Figs. 1—2).

Top tapering was found to depend on top diameter; usually, as the top diameter grew tapering first decreased and later increased. In middle and top logs, top tapering decreased to some extent until the largest-sized logs.

Butt tapering in butt logs increased very distinctly with top diameter. Middle and top logs showed partly a similar and partly the contrary dependence.

It was found further that, for instance, when length increases both butt and top tapering decrease in the majority of the cases, the top tapering and partly also butt tapering of butt logs is smaller than for middle and top logs, tapering is greater in the material for northern than in that for southern Finland and the tapering of spruce logs is greater than the tapering of pine logs.

32. Top form factor tables (Appendix tables 1—18)

321. Compilation of top form factor series and their structure.

The top form factor series were compiled separately for southern and northern Finland. The Oulujoki water system area and the water system areas north of it are included in northern Finland.

The top form factor series were prepared by double freehand smoothing. Mean top form factors were calculated for the top diameter classes of the length classes. A smoothed curve was then drawn for each length class. From the smoothed curves were selected the top form factors which were smoothed further by top diameter class.

The sets of curves thus obtained were compared on the one hand with sets of so-called model curves (Fig. 3) and, on the other hand, with drawings illustrating the tapering (Figs. 1—2). With the latter were compared also tapering series calculated in accordance with the top form factors. At the points where discrepancies were observed, adjustments were made and the curves were corrected.

The top form factor series thus compiled and the corresponding series of the »Kiintomittataulukot» are largely similar in their composition. The same observation is valid if they are compared with the series compiled by Archer and Eide (1920). The dependence between top diameter and top form factor is similar also in the series presented in swedish committee report »Vid virkesmätning erforderliga relationstal (1923)» and prepared by Eklund (1950).

322. Comparison between top form factors and the top form factors of the »Kiintomittataulukot».

The top form factors in question here for small-diameter logs are considerably lower than the top form factors of the »Kiintomittataulukot» (Table 14). The difference narrows as the top diameter grows. However, for large-sized spruce logs the ratio is reversed. The considerable differences in small-diameter logs can be considered to have been caused especially by the relatively greater number of badly formed top logs of older trees earlier than today among the small-diameter logs.

323. Actual solid volume obtained by top form factors compared with the solid volume according to measurements.

The final criterion used for evaluation of the success of the top form factor compilation was comparison between the solid volume obtained with their aid and the solid volume in accordance with measurements (Table 15). The differences between the solid volumes are fairly small for the most central range of the material. As even the differences encountered in the short and long, thin and thick sizes show no systematic trend, the smoothing can probably be considered successful.

Comparison of solid volumes was performed also with materials for part areas, using logs 14—17 ft. long and 6—11½ in. thick. All the logs were included (Table 16). In the spruce material for the southern part of northern Finland, the solid volume obtained by top form factors was distinctly greater than the solid volume in accordance with measurements, whereas for the northern part the reverse was true. The other differences between part areas were so small that the tables can be considered satisfactory as regards the parts examined here, including the calculation of solid volume by part areas.

324. The use and the reliability of the tables.

The tables are most suitable for determination of actual solid volume by size class. They can, however, also be used when only the following are known: mean length of the log lot, number of units and technical cubic content. In such cases, the figure to be used in the table is the one which corresponds to the dimensions of a medium-sized log. This method was tried only for amounts drawn by lot from the material. Slightly too small solid volumes were obtained by this method in the southern Finnish material and nearly correct solid volumes in the north Finnish material. The method was also tried with log lists obtained from sawmills (Chapter 23) if they included data on both length and top diameter distribution. The actual solid volume according to the medium-sized log was smaller than the solid volume calculated by size class: 0.6 per cent smaller for pine logs and 1.5 per cent for spruce logs from southern Finland, and 0.5 per cent for the pine and spruce logs from northern Finland. An error of this kind was expectable as the decrease in the form factors of the top diameter classes slows down fairly distinctly when moving from small-diameter logs to larger-sized logs.

It was not possible to make serviceable reliability calculations for the use of tables. Obviously, the greater the regional entities and the larger the quantities of logs in question, the better the result that the tables will probably give. Experiments with the deviation of the top form factors in different size-classes of the material showed that the deviation was greater in the material of all logs for logs from northern than from southern Finland, and that it decreased when diameter and length increased.

33. Dependence between top form factor and quality

Graded according to the classification published in 1960 (Heiskanen and Siimes), grade I accounted for 27 per cent of all logs in the pine log material of southern Finland, grade II for 31 and grade III and logs unsuitable for lumber production for 42 per cent. The comparable rations for spruce logs from southern Finland were 28, 39 and 33 per cent, for pine logs from northern Finland 12, 28 and 60 per cent

and for spruce logs from northern Finland 4, 27 and 69 per cent. It must be remembered, however, that the size class distributions of the materials differ slightly from the true distribution.

The dependence between top form factor and grade was analysed for 14—18 foot logs (Fig. 4). The top form factor grows with the deterioration of grade. Dependence of this type is small in southern Finland pine butt logs, but fairly distinct in the other part materials. The top form factors of the extreme classes differ in many instances by over 10 per cent.

34. Difference between exact solid volume and actual solid volume

The difference between the exact solid volume and actual solid volume (solid volume in accordance with middle diameter) of butt logs was studied in butt logs from the butt of which several diameters had been taken (Chapter 21). A modification of the method suggested by Bal Sieu Ramdial (1963) was used for determination of exact solid volume. The main principle of the method is to plot the log into coordinates according to cross surface areas measured at different points of the log. The area of this figure multiplied by a coefficient which depends on the scale gives the log volume (Fig. 5).

The relationship of solid volumes in middle and top logs was studied by the same method, except that instead of individual logs the average-size log of the classes considered in the study of tapering was used.

The relationship of solid volumes was studied by top diameter class (Table 19). The exact solid volume is greater than the actual solid volume almost without exception for butt logs and all logs. The difference in solid volumes grows with the top diameter. In small-diameter logs solid volumes are practically the same, but in larger-sized logs the exact solid volume is 3—5 per cent greater than the actual solid volume. The solid volume differences are small for middle and top logs, and in medium-sized classes the solid volumes are of the same magnitude within these limits of accuracy.

35. Allowance

About a half of the allowances belong to classes 4—4½″ and 5—5½″. (Fig. 6). 7—10 per cent belong to class 0—2½″ and 4—11 per cent of the material belong to class 8—11½″, depending on the part material. The proportion of long allowances is greater in the northern than southern Finland material.

The average length of allowance ranged from 4.6—5.4″ in the different part materials. It was longer for spruce than for pine logs, longer for butt than for middle-top logs and longer for the northern than for the southern Finland material.

No correlation was established in butt logs and middle-top logs between the length of allowance and log length, and the length of allowance and top diameter of the log. In the all logs material, on the other hand, the largest and longest logs had a little longer allowance on an average than the other logs. This is understandable as it is chiefly butt logs that have a longer allowance than middle-top logs.

Latvamuotolukutaulukot 1—18

Latvamuotolukuihin sisältyvät 5″ (metrimittaisissa taulukoissa vastaavasti 12.5 cm:n) tasausvarasta ja ½″ (metrimittaisissa taulukoissa vastaavasti 2 cm:n) latvaläpimitan alaspäin pyöristämisestä aiheutuvat korjaustekijät.

Top form factor tables 1—18

The top form factors include the correction factors caused 5″ (correspondingly 12.5 cm for the tables with metric measures) allowance and downward rounding off of the top diameter to an accuracy of half an inch (correspondingly 2 cm for the tables with metric measures).

Korjaustekijätaulukot 19—22
Correction factor tables 19—22

Taulukko 1. Latvamuotoluvut, Engl. mitat.
Table 1. Top form factors, british measures.

Mänty — *Pine* Tyvitukit — *Butt logs* Etelä-Suomi — *South Finland*

Pit., jalkaa *Length feet*	Latvaläpimitta kuoretta, tuumaa — *Top diameter inside bark, inches*																			
	5″	5½″	6″	6½″	7″	7½″	8″	8½″	9″	9½″	10″	10½″	11″	11½″	12″	12½″	13″	13½″	14″	14½″
	Latvamuotoluku — *Top form factor*																			
10 ..	1.39	1.35	1.33	1.30	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.19	1.18	1.18
11 ..	1.38	1.35	1.32	1.30	1.27	1.26	1.24	1.23	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18
12 ..	1.38	1.35	1.32	1.30	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18	1.18
13 ..	1.39	1.35	1.32	1.30	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18	1.17
14 ..	1.41	1.36	1.33	1.30	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18	1.18
15 ..	1.42	1.37	1.33	1.30	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18
16 ..	1.45	1.39	1.34	1.31	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18
17 ..	1.47	1.40	1.36	1.32	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.20	1.19	1.19	1.19	1.18
18 ..	1.50	1.42	1.37	1.33	1.30	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.21	1.21	1.20	1.20	1.20	1.19	1.19
19 ..	1.52	1.44	1.39	1.34	1.31	1.29	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.20	1.20
20 ..	1.54	1.46	1.40	1.36	1.32	1.30	1.28	1.27	1.25	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.21	1.21	1.21	1.20	1.20
21 ..	1.56	1.48	1.42	1.37	1.34	1.31	1.29	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22	1.21	1.21	1.21
22 ..	1.59	1.50	1.44	1.39	1.35	1.32	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24	1.23	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22	1.21
23 ..	1.61	1.52	1.45	1.40	1.36	1.33	1.31	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22
24 ..	1.63	1.54	1.47	1.41	1.38	1.34	1.32	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24	1.23	1.23	1.23	1.23	1.22

Taulukko 2. Latvamuotoluvut, Engl. mitat.
Table 2. Top form factors, british measures.

Mänty — *Pine* Väli-latvatukit — *Middle and top logs* Etelä-Suomi — *South Finland*

Pit., jalkaa *Length feet*	Latvaläpimitta kuoretta, tuumaa — *Top diameter inside bark, inches*																	
	5″	5½″	6″	6½″	7″	7½″	8″	8½″	9″	9½″	10″	10½″	11″	11½″	12″	12½″	13″	13½″
	Latvamuotoluku — *Top form factor*																	
10 ..	1.63	1.50	1.40	1.32	1.27	1.24	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16	1.16	1.16	1.15	1.15	1.14	1.14
11 ..	1.64	1.51	1.42	1.35	1.30	1.27	1.24	1.22	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16	1.16	1.15	1.15	1.15
12 ..	1.64	1.53	1.45	1.38	1.33	1.29	1.27	1.24	1.23	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.17	1.16	1.16	1.15
13 ..	1.65	1.54	1.46	1.40	1.35	1.32	1.29	1.26	1.24	1.23	1.22	1.20	1.19	1.19	1.18	1.17	1.17	1.16
14 ..	1.65	1.55	1.48	1.42	1.38	1.34	1.31	1.28	1.26	1.24	1.23	1.21	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.17
15 ..	1.66	1.56	1.49	1.44	1.40	1.36	1.33	1.30	1.28	1.25	1.24	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19	1.18	1.18
16 ..	1.67	1.57	1.50	1.45	1.41	1.38	1.34	1.31	1.28	1.26	1.25	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.19	1.19
17 ..	1.68	1.58	1.51	1.46	1.42	1.38	1.35	1.32	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.20
18 ..	1.69	1.59	1.52	1.47	1.43	1.39	1.35	1.32	1.30	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20
19 ..	1.69	1.59	1.53	1.48	1.43	1.39	1.36	1.33	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21
20 ..	1.69	1.60	1.54	1.48	1.44	1.40	1.36	1.33	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22
21 ..	1.70	1.61	1.54	1.49	1.44	1.40	1.37	1.34	1.31	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.24	1.23	1.23
22 ..	1.70	1.61	1.55	1.50	1.45	1.41	1.37	1.34	1.31	1.29	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.24	1.24
23 ..	1.71	1.61	1.55	1.50	1.45	1.41	1.38	1.34	1.31	1.29	1.28	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.25
24 ..	1.71	1.62	1.56	1.51	1.46	1.41	1.38	1.34	1.32	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	1.27	1.26	1.26	1.26

Taulukko 3. Latvamuotoluvut, Engl. mitat.
Table 3. Top form factors, british measures.

Mänty — *Pine* Kaikki tukit — *All logs* Etelä-Suomi — *South Finland*

Pit., jalkaa *Length feet*	Latvaläpimitta kuoretta, tuumaa — *Top diameter inside bark, inches*																			
	5″	5½″	6″	6½″	7″	7½″	8″	8½″	9″	9½″	10″	10½″	11″	11½″	12″	12½″	13″	13½″	14″	14½″
	Latvamuotoluku — *Top form factor*																			
10 ..	1.60	1.49	1.39	1.32	1.29	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18	1.18
11 ..	1.61	1.50	1.40	1.33	1.29	1.26	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19	1.18	1.18	1.18	1.18	1.17	1.17
12 ..	1.62	1.52	1.42	1.35	1.31	1.28	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18	1.18
13 ..	1.63	1.53	1.44	1.37	1.32	1.28	1.26	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18	1.18
14 ..	1.64	1.54	1.45	1.38	1.33	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18	1.18
15 ..	1.64	1.54	1.46	1.39	1.34	1.30	1.27	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18
16 ..	1.64	1.54	1.46	1.39	1.34	1.31	1.28	1.26	1.25	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18
17 ..	1.64	1.54	1.46	1.40	1.35	1.31	1.28	1.26	1.25	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.19	1.18	1.18
18 ..	1.63	1.54	1.46	1.40	1.35	1.31	1.28	1.26	1.25	1.24	1.22	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18
19 ..	1.62	1.53	1.46	1.40	1.35	1.31	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.20	1.19	1.19	1.19
20 ..	1.62	1.53	1.46	1.40	1.35	1.32	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.20	1.19
21 ..	1.62	1.53	1.46	1.40	1.36	1.32	1.29	1.28	1.26	1.25	1.24	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20
22 ..	1.62	1.53	1.46	1.41	1.36	1.33	1.30	1.29	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.21	1.21	1.21
23 ..	1.63	1.54	1.47	1.41	1.37	1.34	1.32	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22
24 ..	1.64	1.55	1.47	1.42	1.38	1.35	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26	1.26	1.25	1.25	1.24	1.24	1.23	1.23	1.23

Taulukko 4. Latvamuotoluvut, Engl. mitat.
Table 4. Top form factors, british measures.

Mänty — *Pine* Tyvitukit — *Butt logs* Pohjois-Suomi — *North Finland*

Pit., jalkaa *Length feet*	Latvaläpimitta kuoretta, tuumaa — *Top diameter inside bark, inches*																			
	5″	5½″	6″	6½″	7″	7½″	8″	8½″	9″	9½″	10″	10½″	11″	11½″	12″	12½″	13″	13½″	14″	14½″
	Latvamuotoluku — *Top form factor*																			
10 ..	1.57	1.49	1.42	1.36	1.33	1.30	1.27	1.25	1.23	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19	1.18	1.18	1.17	1.17	1.17	1.16
11 ..	1.57	1.48	1.42	1.36	1.32	1.30	1.27	1.25	1.23	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19	1.18	1.18	1.17	1.17	1.17	1.16
12 ..	1.57	1.48	1.42	1.36	1.32	1.29	1.27	1.25	1.24	1.22	1.22	1.20	1.20	1.19	1.18	1.18	1.18	1.17	1.17	1.17
13 ..	1.56	1.48	1.41	1.36	1.32	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.17	1.17	1.17
14 ..	1.55	1.47	1.41	1.36	1.32	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18	1.17	1.17
15 ..	1.55	1.47	1.41	1.36	1.32	1.30	1.28	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18	1.17
16 ..	1.55	1.47	1.41	1.37	1.33	1.30	1.28	1.26	1.25	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18
17 ..	1.56	1.48	1.42	1.37	1.34	1.31	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18
18 ..	1.56	1.48	1.42	1.38	1.35	1.32	1.30	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18
19 ..	1.58	1.49	1.43	1.39	1.36	1.33	1.31	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19
20 ..	1.59	1.50	1.44	1.40	1.37	1.34	1.32	1.30	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19
21 ..	1.60	1.51	1.45	1.41	1.38	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.19
22 ..	1.61	1.52	1.47	1.43	1.39	1.37	1.34	1.32	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
23 ..	1.62	1.53	1.48	1.44	1.41	1.38	1.35	1.33	1.31	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21
24 ..	1.64	1.54	1.49	1.45	1.42	1.39	1.36	1.34	1.32	1.31	1.30	1.29	1.27	1.26	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22

Taulukko 5. Latvamuotoluvut, Engl. mitat.
Table 5. Top form factors, british measures.

Mänty — *Pine* Kaikki tukit — *All logs* Pohjois-Suomi — *North Finland*

Pit., jalkaa *Length feet*	Latvaläpimitta kuoretta, tuumaa — *Top diameter inside bark, inches*																			
	5″	5½″	6″	6½″	7″	7½″	8″	8½″	9″	9½″	10″	10½″	11″	11½″	12″	12½″	13″	13½″	14″	14½″
	Latvamuotoluku — *Top form factor*																			
10 ..	1.90	1.81	1.65	1.54	1.45	1.37	1.34	1.30	1.27	1.25	1.23	1.22	1.21	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.17	1.17
11 ..	1.84	1.75	1.62	1.52	1.44	1.37	1.33	1.29	1.26	1.25	1.23	1.22	1.21	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.17	1.17
12 ..	1.79	1.70	1.59	1.51	1.43	1.36	1.32	1.29	1.26	1.25	1.23	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19	1.18	1.18	1.18	1.17
13 ..	1.74	1.66	1.57	1.49	1.42	1.36	1.32	1.29	1.26	1.25	1.23	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.17
14 ..	1.70	1.62	1.54	1.47	1.41	1.35	1.31	1.28	1.26	1.25	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.17
15 ..	1.67	1.59	1.52	1.45	1.40	1.35	1.31	1.28	1.26	1.25	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19	1.18	1.18	1.17
16 ..	1.65	1.57	1.50	1.44	1.39	1.35	1.31	1.29	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18
17 ..	1.62	1.55	1.48	1.43	1.38	1.35	1.31	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18
18 ..	1.60	1.53	1.46	1.42	1.38	1.35	1.31	1.29	1.27	1.25	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19	1.18
19 ..	1.59	1.51	1.45	1.41	1.38	1.35	1.31	1.29	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19
20 ..	1.59	1.51	1.45	1.41	1.38	1.35	1.32	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.20
21 ..	1.58	1.50	1.44	1.40	1.37	1.35	1.32	1.30	1.29	1.27	1.26	1.26	1.25	1.24	1.24	1.23	1.23	1.22	1.21	1.21
22 ..	1.57	1.49	1.44	1.40	1.37	1.35	1.32	1.31	1.29	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25	1.24	1.24	1.23	1.23	1.22	1.21
23 ..	1.57	1.49	1.44	1.40	1.37	1.35	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.24	1.24	1.23	1.22
24 ..	1.56	1.49	1.43	1.40	1.38	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.24	1.24	1.23

Taulukko 6. Latvamuotoluvut, Engl. mitat.
Table 6. Top form factors, british measures.

Kuusi — *Spruce* Tyvitukit — *Butt logs* Etelä-Suomi — *South Finland*

Pit., jalkaa *Length feet*	Latvaläpimitta kuoretta, tuumaa — *Top diameter inside bark, inches*																			
	5″	5½″	6″	6½″	7″	7½″	8″	8½″	9″	9½″	10″	10½″	11″	11½″	12″	12½″	13″	13½″	14″	14½″
	Latvamuotoluku — *Top form factor*																			
10 ..	1.41	1.36	1.32	1.28	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24	1.24	1.24	1.23	1.23	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
11 ..	1.44	1.38	1.34	1.30	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.24	1.24	1.24	1.23	1.23	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22
12 ..	1.47	1.40	1.36	1.32	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.24	1.24	1.24	1.23	1.23	1.23	1.23	1.22
13 ..	1.50	1.43	1.38	1.34	1.31	1.29	1.28	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.24	1.24	1.24	1.23	1.23	1.23	1.23
14 ..	1.52	1.46	1.41	1.36	1.32	1.31	1.29	1.28	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.24	1.24	1.24	1.24	1.23	1.23
15 ..	1.55	1.49	1.43	1.38	1.34	1.32	1.30	1.29	1.28	1.28	1.27	1.26	1.26	1.26	1.25	1.25	1.24	1.24	1.24	1.23
16 ..	1.58	1.51	1.46	1.40	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.25	1.24	1.24	1.24
17 ..	1.60	1.53	1.48	1.42	1.37	1.34	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.25	1.24	1.24
18 ..	1.62	1.55	1.49	1.43	1.38	1.35	1.33	1.32	1.30	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.25	1.25	1.24
19 ..	1.63	1.56	1.50	1.44	1.39	1.36	1.34	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.25	1.24
20 ..	1.65	1.57	1.51	1.45	1.40	1.37	1.35	1.33	1.32	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.26	1.25	1.25	1.25
21 ..	1.65	1.58	1.52	1.46	1.41	1.37	1.35	1.34	1.32	1.31	1.30	1.28	1.28	1.27	1.26	1.26	1.26	1.26	1.25	1.25
22 ..	1.67	1.59	1.52	1.47	1.42	1.38	1.36	1.34	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.26	1.25	1.25
23 ..	1.67	1.59	1.53	1.47	1.43	1.38	1.36	1.34	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.26	1.25	1.25
24 ..	1.68	1.60	1.53	1.48	1.43	1.39	1.36	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.26	1.25	1.25

Taulukko 7. Latvamuotoluvut, Engl. mitat.
Table 7. Top form factors, british measures.

Kuusi — *Spruce* Väli-latvatukit — *Middle and top logs* Etelä-Suomi — *South Finland*

Pit., jalkaa *Length feet*	Latvaläpimitta kuoretta, tuumaa — *Top diameter inside bark, inches*																	
	5″	5 ½″	6″	6 ½″	7″	7 ½″	8″	8 ½″	9″	9 ½″	10″	10 ½″	11″	11 ½″	12″	12 ½″	13″	13 ½″
	Latvamuotoluku — *Top form factor*																	
10 ..	1.56	1.49	1.42	1.37	1.33	1.30	1.28	1.25	1.24	1.22	1.21	1.20	1.19	1.18	1.18	1.17	1.17	1.16
11 ..	1.60	1.52	1.46	1.39	1.36	1.33	1.30	1.28	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	1.19	1.18	1.18
12 ..	1.64	1.55	1.49	1.42	1.38	1.35	1.32	1.30	1.28	1.26	1.25	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.20
13 ..	1.67	1.58	1.51	1.45	1.41	1.38	1.35	1.32	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21
14 ..	1.70	1.61	1.53	1.48	1.43	1.39	1.37	1.34	1.32	1.31	1.30	1.28	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23
15 ..	1.72	1.63	1.55	1.50	1.45	1.41	1.38	1.36	1.34	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25
16 ..	1.73	1.65	1.57	1.51	1.46	1.42	1.40	1.38	1.36	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26
17 ..	1.74	1.66	1.58	1.52	1.47	1.43	1.40	1.38	1.37	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27
18 ..	1.75	1.67	1.59	1.53	1.47	1.43	1.41	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.31	1.31	1.30	1.29	1.28
19 ..	1.76	1.68	1.59	1.53	1.47	1.44	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.30	1.29
20 ..	1.77	1.68	1.59	1.53	1.48	1.44	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.30
21 ..	1.78	1.68	1.60	1.53	1.48	1.44	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.31	1.30
22 ..	1.78	1.68	1.60	1.54	1.48	1.44	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.32	1.31	1.30
23 ..	1.79	1.68	1.60	1.54	1.48	1.44	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.32	1.31	1.30
24 ..	1.80	1.69	1.60	1.54	1.49	1.44	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.32	1.31	1.30

Taulukko 8. Latvamuotoluvut, Engl. mitat.

Table 8. Top form factors, british measures.

Kuusi — *Spruce* Kaikki tukit — *All logs* Etelä-Suomi — *South Finland*

Pit., jalkaa *Length feet*	Latvaläpimitta kuoretta, tuumaa — *Top diameter inside bark, inches*																			
	5″	5½″	6″	6½″	7″	7½″	8″	8½″	9″	9½″	10″	10½″	11″	11½″	12″	12½″	13″	13½″	14″	14½″
	Latvamuotoluku — *Top form factor*																			
10 ..	1.56	1.48	1.41	1.36	1.32	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22	1.21	1.21	1.21	1.21	1.20	1.20
11 ..	1.60	1.51	1.44	1.39	1.34	1.30	1.28	1.26	1.25	1.24	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22	1.21	1.21	1.21	1.20
12 ..	1.63	1.54	1.47	1.41	1.36	1.32	1.30	1.28	1.26	1.26	1.25	1.24	1.24	1.23	1.22	1.22	1.22	1.21	1.21	1.21
13 ..	1.66	1.56	1.50	1.43	1.37	1.34	1.31	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22	1.21
14 ..	1.68	1.59	1.52	1.45	1.38	1.35	1.32	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24	1.23	1.23	1.23	1.22	1.22
15 ..	1.70	1.61	1.53	1.46	1.40	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.25	1.24	1.24	1.23	1.23	1.23
16 ..	1.71	1.62	1.54	1.46	1.41	1.36	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.26	1.24	1.24	1.24
17 ..	1.72	1.63	1.55	1.47	1.41	1.37	1.34	1.33	1.31	1.30	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.24
18 ..	1.73	1.64	1.56	1.48	1.42	1.37	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.28	1.27	1.26	1.26	1.26	1.25	1.25
19 ..	1.74	1.64	1.56	1.48	1.42	1.37	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25
20 ..	1.75	1.65	1.57	1.49	1.42	1.38	1.35	1.34	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.26	1.25
21 ..	1.75	1.66	1.57	1.49	1.42	1.38	1.35	1.34	1.32	1.31	1.30	1.29	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.26	1.25
22 ..	1.76	1.66	1.57	1.49	1.42	1.38	1.36	1.34	1.32	1.31	1.30	1.29	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.26	1.25
23 ..	1.77	1.67	1.58	1.50	1.43	1.38	1.36	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.26	1.25
24 ..	1.77	1.67	1.59	1.50	1.43	1.39	1.36	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	1.27	1.26	1.26	1.25

Taulukko 9. Latvamuotoluvut, Engl. mitat.
Table 9. Top form factors, british measures.

Kuusi — *Spruce* Tyvitukit — *Butt logs* Pohjois-Suomi — *North Finland*

Pit., jalkaa *Length feet*	Latvaläpimitta kuoretta, tuumaa — *Top diameter inside bark, inches*																			
	5″	5½″	6″	6½″	7″	7½″	8″	8½″	9″	9½″	10″	10½″	11″	11½″	12″	12½″	13″	13½″	14″	14½″
	Latvamuotoluku — *Top form factor*																			
10 ..	1.50	1.45	1.42	1.40	1.38	1.38	1.36	1.36	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33	1.32	1.32	1.31	1.31	1.31	1.30	1.30
11 ..	1.52	1.49	1.45	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33	1.32	1.32	1.31	1.31	1.30	1.30
12 ..	1.59	1.53	1.48	1.45	1.43	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.34	1.33	1.32	1.32	1.31	1.31	1.30	1.30
13 ..	1.64	1.57	1.52	1.47	1.45	1.43	1.40	1.39	1.38	1.36	1.35	1.35	1.34	1.33	1.33	1.32	1.32	1.31	1.30	1.30
14 ..	1.69	1.61	1.54	1.49	1.47	1.44	1.42	1.40	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.34	1.33	1.32	1.32	1.31	1.30	1.30
15 ..	1.72	1.63	1.56	1.51	1.48	1.45	1.43	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.33	1.32	1.31	1.31	1.30
16 ..	1.74	1.66	1.57	1.52	1.49	1.46	1.44	1.42	1.40	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.34	1.33	1.32	1.31	1.31	1.31
17 ..	1.77	1.68	1.59	1.53	1.50	1.47	1.44	1.43	1.41	1.39	1.38	1.36	1.35	1.35	1.34	1.33	1.33	1.32	1.31	1.31
18 ..	1.79	1.69	1.60	1.55	1.51	1.48	1.45	1.43	1.41	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.34	1.33	1.32	1.32	1.31
19 ..	1.80	1.71	1.62	1.55	1.52	1.49	1.46	1.44	1.42	1.40	1.39	1.37	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34	1.33	1.32	1.32
20 ..	1.82	1.72	1.63	1.56	1.53	1.50	1.47	1.45	1.43	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.35	1.34	1.33	1.33	1.32
21 ..	1.83	1.72	1.64	1.57	1.53	1.50	1.48	1.46	1.43	1.41	1.40	1.38	1.37	1.36	1.36	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33
22 ..	1.84	1.73	1.65	1.58	1.54	1.51	1.48	1.46	1.44	1.42	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34	1.33
23 ..	1.85	1.74	1.66	1.59	1.55	1.52	1.49	1.47	1.45	1.43	1.41	1.39	1.38	1.37	1.37	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34
24 ..	1.86	1.74	1.66	1.59	1.55	1.52	1.50	1.47	1.45	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.36	1.35	1.35	1.34

Taulukko 10. Latvamuotoluvut, Engl. mitat.
Table 10. Top form factors, british measures.

Kuusi — *Spruce* Kaikki tukit — *All logs* Pohjois-Suomi — *North Finland*

Pit., jalkaa *Length feet*	Latvaläpimitta kuoretta, tuumaa — *Top diameter inside bark, inches*																			
	5″	5½″	6″	6½″	7″	7½″	8″	8½″	9″	9½″	10″	10½″	11″	11½″	12″	12½″	13″	13½″	14″	14½″
	Latvamuotoluku — *Top form factor*																			
10 ..	1.74	1.62	1.52	1.45	1.41	1.39	1.37	1.36	1.34	1.34	1.33	1.32	1.31	1.31	1.30	1.30	1.30	1.29	1.29	1.28
11 ..	1.76	1.65	1.54	1.47	1.43	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.33	1.32	1.32	1.31	1.31	1.30	1.30	1.29
12 ..	1.78	1.67	1.56	1.49	1.44	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33	1.32	1.32	1.32	1.31	1.31
13 ..	1.80	1.69	1.57	1.50	1.45	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33	1.32	1.32	1.32
14 ..	1.81	1.71	1.59	1.52	1.47	1.44	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33	1.33	1.32
15 ..	1.82	1.73	1.61	1.53	1.48	1.46	1.44	1.42	1.40	1.39	1.37	1.36	1.36	1.35	1.34	1.34	1.34	1.33	1.33	1.33
16 ..	1.84	1.74	1.63	1.55	1.49	1.47	1.45	1.43	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33	1.33
17 ..	1.84	1.75	1.65	1.56	1.51	1.48	1.46	1.44	1.41	1.40	1.38	1.37	1.36	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33
18 ..	1.85	1.76	1.66	1.58	1.52	1.49	1.47	1.44	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33
19 ..	1.86	1.77	1.68	1.59	1.53	1.50	1.47	1.45	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33
20 ..	1.87	1.77	1.69	1.60	1.54	1.51	1.48	1.45	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33
21 ..	1.87	1.77	1.69	1.61	1.55	1.51	1.48	1.45	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33
22 ..	1.88	1.78	1.70	1.62	1.56	1.52	1.48	1.45	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33
23 ..	1.88	1.78	1.70	1.62	1.56	1.52	1.49	1.45	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33
24 ..	1.89	1.78	1.70	1.63	1.57	1.52	1.49	1.46	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34	1.33	1.33

Taulukko 11. Latvamuotoluvut, metriset mitat.
Table 11. Top form factors, metric measures.

Mänty — *Pine* Tyvitukit — *Butt logs* Etelä-Suomi — *South Finland*

Pituus, metriä *Length, metres*	Latvaläpimitta kuoretta, cm — *Top diameter inside bark, cm*												
	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
	Latvamuotoluku — *Top form factor*												
3.00	1.52	1.42	1.36	1.32	1.29	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20
3.20	1.52	1.41	1.36	1.32	1.29	1.27	1.26	1.25	1.24	1.22	1.22	1.21	1.20
3.40	1.51	1.41	1.36	1.32	1.29	1.27	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
3.60	1.51	1.41	1.36	1.31	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
3.80	1.52	1.41	1.36	1.31	1.29	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
4.00	1.52	1.41	1.36	1.31	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
4.20	1.53	1.42	1.36	1.31	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
4.40	1.54	1.42	1.36	1.31	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
4.60	1.55	1.43	1.37	1.32	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
4.80	1.57	1.44	1.37	1.32	1.29	1.27	1.26	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20
5.00	1.58	1.45	1.38	1.32	1.29	1.27	1.26	1.24	1.24	1.22	1.22	1.21	1.21
5.20	1.59	1.46	1.39	1.33	1.30	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21
5.40	1.61	1.48	1.39	1.34	1.30	1.28	1.27	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.21
5.60	1.62	1.49	1.40	1.34	1.31	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21
5.80	1.63	1.50	1.41	1.35	1.32	1.29	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22
6.00	1.64	1.51	1.42	1.36	1.32	1.30	1.28	1.27	1.25	1.24	1.24	1.23	1.22
6.20	1.65	1.52	1.43	1.37	1.33	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.23
6.40	1.66	1.54	1.44	1.38	1.33	1.31	1.29	1.28	1.26	1.25	1.25	1.24	1.23
6.60	1.67	1.55	1.45	1.38	1.34	1.31	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.24
6.80	1.68	1.56	1.46	1.39	1.35	1.32	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24
7.00	1.70	1.58	1.47	1.40	1.36	1.32	1.31	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24
7.20	1.74	1.59	1.48	1.41	1.36	1.33	1.31	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.25
7.40	1.76	1.61	1.49	1.43	1.37	1.34	1.32	1.30	1.29	1.27	1.27	1.26	1.25

Taulukko 12. Latvamuotoluvut, metriset mitat.
Table 12. Top form factors, metric measures.

Mänty — *Pine* Kaikki tukit — *All logs* Etelä-Suomi — *South Finland*

Pituus, metriä *Length, metres*	Latvaläpimitta kuoretta, cm — *Top diameter inside bark, cm*												
	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
	Latvamuotoluku — *Top form factor*												
3.00	1.70	1.53	1.39	1.32	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
3.20	1.71	1.54	1.39	1.33	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.20
3.40	1.71	1.55	1.40	1.33	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.21	1.21	1.20	1.20
3.60	1.72	1.56	1.42	1.34	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
3.80	1.73	1.57	1.43	1.35	1.30	1.27	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
4.00	1.74	1.58	1.44	1.36	1.31	1.28	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
4.20	1.75	1.59	1.45	1.36	1.31	1.28	1.26	1.25	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
4.40	1.76	1.59	1.46	1.37	1.32	1.29	1.26	1.25	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
4.60	1.76	1.60	1.46	1.38	1.32	1.29	1.27	1.25	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
4.80	1.76	1.60	1.47	1.38	1.32	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21
5.00	1.76	1.60	1.47	1.38	1.33	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21
5.20	1.76	1.59	1.47	1.38	1.33	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21
5.40	1.76	1.59	1.47	1.38	1.33	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21
5.60	1.75	1.59	1.47	1.39	1.33	1.30	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21
5.80	1.75	1.59	1.47	1.39	1.33	1.30	1.27	1.26	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21
6.00	1.75	1.59	1.47	1.39	1.33	1.30	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22
6.20	1.75	1.59	1.47	1.39	1.34	1.31	1.28	1.27	1.25	1.24	1.24	1.23	1.22
6.40	1.75	1.59	1.47	1.39	1.34	1.31	1.29	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22
6.60	1.75	1.59	1.48	1.40	1.35	1.32	1.30	1.28	1.27	1.25	1.25	1.24	1.23
6.80	1.76	1.59	1.48	1.40	1.36	1.33	1.30	1.29	1.27	1.26	1.25	1.24	1.24
7.00	1.76	1.60	1.49	1.41	1.36	1.33	1.31	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24
7.20	1.77	1.60	1.49	1.42	1.37	1.34	1.32	1.30	1.29	1.27	1.27	1.26	1.25
7.40	1.77	1.61	1.50	1.43	1.38	1.35	1.33	1.31	1.29	1.28	1.27	1.26	1.26

Taulukko 13. Latvamuotoluvut, metriset mitat.
Table 13. Top form factors, metric measures.

Mänty — *Pine* Tyvitukit — *Butt logs* Pohjois-Suomi — *North Finland*

Pituus, metriä *Length, metres*	Latvaläpimitta kuoretta, cm — *Top diameter inside bark, cm*												
	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
	Latvamuotoluku — *Top form factor*												
3.00	1.64	1.54	1.43	1.37	1.32	1.28	1.26	1.24	1.22	1.21	1.20	1.19	1.18
3.20	1.63	1.54	1.43	1.36	1.32	1.28	1.26	1.24	1.22	1.21	1.20	1.19	1.19
3.40	1.63	1.54	1.43	1.36	1.32	1.28	1.26	1.24	1.22	1.21	1.20	1.19	1.19
3.60	1.63	1.54	1.43	1.36	1.32	1.28	1.26	1.24	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19
3.80	1.63	1.53	1.43	1.36	1.32	1.28	1.26	1.24	1.23	1.21	1.20	1.20	1.19
4.00	1.62	1.53	1.43	1.36	1.32	1.28	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.19
4.20	1.62	1.53	1.43	1.36	1.32	1.28	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.19
4.40	1.62	1.53	1.43	1.36	1.32	1.29	1.26	1.25	1.23	1.22	1.21	1.20	1.19
4.60	1.62	1.53	1.43	1.37	1.32	1.29	1.27	1.25	1.23	1.22	1.21	1.21	1.19
4.80	1.62	1.53	1.43	1.37	1.33	1.29	1.27	1.25	1.24	1.22	1.22	1.21	1.19
5.00	1.62	1.53	1.44	1.37	1.33	1.30	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20
5.20	1.63	1.54	1.44	1.38	1.33	1.30	1.28	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21
5.40	1.63	1.54	1.45	1.39	1.34	1.31	1.28	1.26	1.25	1.23	1.22	1.22	1.21
5.60	1.64	1.55	1.45	1.39	1.35	1.31	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21
5.80	1.64	1.55	1.46	1.40	1.35	1.32	1.29	1.27	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21
6.00	1.65	1.56	1.47	1.41	1.36	1.32	1.30	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22
6.20	1.66	1.57	1.48	1.42	1.37	1.33	1.30	1.28	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22
6.40	1.66	1.57	1.48	1.42	1.38	1.34	1.31	1.29	1.27	1.26	1.25	1.24	1.22
6.60	1.67	1.58	1.49	1.43	1.38	1.35	1.32	1.30	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23
6.80	1.70	1.59	1.50	1.44	1.39	1.35	1.33	1.30	1.28	1.27	1.26	1.24	1.23
7.00	1.71	1.59	1.51	1.45	1.40	1.36	1.33	1.31	1.29	1.28	1.26	1.25	1.23
7.20	1.72	1.60	1.52	1.46	1.41	1.37	1.34	1.32	1.30	1.28	1.27	1.25	1.23
7.40	1.73	1.61	1.53	1.47	1.41	1.38	1.35	1.33	1.31	1.29	1.28	1.26	1.24

Taulukko 14. Latvamuotoluvut, metriset mitat.
Table 14. Top form factors, metric measures.

Mänty — *Pine* Kaikki tukit — *All logs* Pohjois-Suomi — *North Finland*

Pituus, metriä *Length, metres*	Latvaläpimitta kuoretta, cm — *Top diameter inside bark, cm*												
	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
	Latvamuotoluku — *Top form factor*												
3.00	2.08	1.85	1.63	1.47	1.37	1.32	1.28	1.26	1.24	1.23	1.21	1.20	1.19
3.20	2.02	1.82	1.62	1.46	1.37	1.32	1.28	1.26	1.24	1.23	1.21	1.20	1.19
3.40	1.98	1.79	1.60	1.45	1.36	1.32	1.28	1.26	1.24	1.23	1.21	1.20	1.19
3.60	1.94	1.76	1.59	1.45	1.36	1.31	1.28	1.26	1.24	1.23	1.21	1.20	1.19
3.80	1.91	1.74	1.58	1.44	1.36	1.31	1.28	1.26	1.24	1.23	1.21	1.20	1.19
4.00	1.87	1.71	1.56	1.44	1.35	1.31	1.28	1.25	1.24	1.23	1.22	1.20	1.19
4.20	1.85	1.69	1.55	1.44	1.35	1.31	1.28	1.26	1.24	1.23	1.22	1.20	1.20
4.40	1.82	1.67	1.54	1.43	1.35	1.31	1.28	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20
4.60	1.81	1.65	1.53	1.43	1.35	1.31	1.28	1.26	1.24	1.24	1.22	1.21	1.20
4.80	1.79	1.63	1.52	1.42	1.35	1.31	1.28	1.26	1.25	1.24	1.22	1.21	1.20
5.00	1.77	1.62	1.51	1.42	1.35	1.31	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.21	1.20
5.20	1.75	1.61	1.50	1.42	1.35	1.32	1.29	1.27	1.25	1.24	1.23	1.21	1.21
5.40	1.74	1.59	1.49	1.42	1.35	1.32	1.29	1.27	1.25	1.25	1.23	1.22	1.21
5.60	1.73	1.58	1.48	1.41	1.35	1.32	1.29	1.28	1.26	1.25	1.24	1.22	1.21
5.80	1.72	1.57	1.48	1.41	1.36	1.33	1.30	1.28	1.26	1.26	1.24	1.22	1.22
6.00	1.72	1.57	1.48	1.41	1.36	1.33	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.23	1.22
6.20	1.71	1.57	1.48	1.41	1.36	1.33	1.32	1.29	1.27	1.27	1.25	1.24	1.23
6.40	1.71	1.56	1.47	1.41	1.36	1.34	1.32	1.29	1.28	1.27	1.26	1.24	1.23
6.60	1.70	1.56	1.47	1.41	1.36	1.34	1.32	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24
6.80	1.69	1.55	1.47	1.41	1.37	1.34	1.33	1.30	1.29	1.28	1.27	1.25	1.24
7.00	1.69	1.55	1.47	1.41	1.37	1.34	1.33	1.31	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25
7.20	1.69	1.55	1.47	1.42	1.37	1.35	1.34	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26	1.25
7.40	1.68	1.54	1.46	1.42	1.37	1.35	1.34	1.32	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26

Taulukko 15. Latvamuotoluvut, metriset mitat.
Table 15. Top form factors, metric measures.

Kuusi — *Spruce* Tyvitukit — *Butt logs* Etelä-Suomi — *South Finland*

Pituus, metriä *Length, metres*	Latvaläpimitta kuoretta, cm — *Top diameter inside bark, cm*												
	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
	Latvamuotoluku — *Top form factor*												
3.00	1.51	1.41	1.35	1.31	1.30	1.28	1.27	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24	1.24
3.20	1.53	1.43	1.35	1.32	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.24
3.40	1.54	1.44	1.36	1.33	1.31	1.30	1.29	1.27	1.27	1.26	1.26	1.25	1.24
3.60	1.55	1.46	1.38	1.34	1.32	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25
3.80	1.58	1.48	1.39	1.35	1.32	1.31	1.30	1.28	1.28	1.27	1.26	1.25	1.25
4.00	1.59	1.49	1.41	1.36	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25
4.20	1.62	1.51	1.42	1.37	1.34	1.32	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.25
4.40	1.63	1.53	1.44	1.38	1.34	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.26
4.60	1.66	1.55	1.45	1.38	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26
4.80	1.68	1.57	1.47	1.39	1.35	1.34	1.32	1.30	1.29	1.28	1.28	1.27	1.26
5.00	1.69	1.58	1.48	1.40	1.36	1.34	1.32	1.31	1.30	1.28	1.28	1.27	1.27
5.20	1.69	1.59	1.49	1.41	1.37	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27
5.40	1.70	1.60	1.50	1.42	1.38	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.28	1.27
5.60	1.71	1.61	1.51	1.42	1.38	1.36	1.33	1.32	1.30	1.29	1.28	1.28	1.27
5.80	1.71	1.62	1.51	1.43	1.39	1.36	1.34	1.32	1.30	1.29	1.28	1.28	1.27
6.00	1.71	1.63	1.52	1.44	1.39	1.37	1.34	1.32	1.31	1.29	1.29	1.28	1.27
6.20	1.72	1.64	1.53	1.45	1.40	1.38	1.34	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27
6.40	1.72	1.64	1.54	1.45	1.40	1.38	1.34	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.28
6.60	1.73	1.65	1.54	1.45	1.40	1.38	1.35	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.28
6.80	1.74	1.65	1.54	1.46	1.41	1.38	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.28
7.00	1.75	1.66	1.55	1.46	1.41	1.38	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.28
7.20	1.76	1.66	1.55	1.47	1.41	1.38	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.28
7.40	1.76	1.66	1.55	1.47	1.41	1.38	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.29	1.28

Taulukko 16. Latvamuotoluvut, metriset mitat.
Table 16. Top form factors, metric measures.

Kuusi — *Spruce* Kaikki tukit — *All logs* Etelä-Suomi — *South Finland*

Pituus, metriä *Length, metres*	Latvaläpimitta kuoretta, cm — *Top diameter inside bark, cm*												
	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
	Latvamuotoluku — *Top form factor*												
3.00	1.64	1.50	1.40	1.33	1.29	1.27	1.25	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22
3.20	1.70	1.55	1.44	1.37	1.32	1.29	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24	1.23	1.23
3.40	1.72	1.57	1.46	1.38	1.33	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.23
3.60	1.74	1.59	1.48	1.39	1.34	1.31	1.30	1.28	1.26	1.25	1.25	1.24	1.23
3.80	1.79	1.61	1.49	1.40	1.35	1.32	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23
4.00	1.80	1.63	1.51	1.41	1.36	1.33	1.31	1.29	1.28	1.26	1.25	1.25	1.24
4.20	1.81	1.64	1.52	1.42	1.36	1.33	1.31	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24
4.40	1.82	1.66	1.53	1.43	1.37	1.34	1.32	1.30	1.29	1.28	1.26	1.26	1.25
4.60	1.84	1.67	1.53	1.43	1.38	1.35	1.33	1.31	1.29	1.28	1.27	1.27	1.25
4.80	1.85	1.67	1.54	1.44	1.38	1.35	1.33	1.32	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26
5.00	1.85	1.68	1.55	1.44	1.39	1.36	1.34	1.32	1.31	1.29	1.28	1.27	1.26
5.20	1.86	1.69	1.55	1.45	1.39	1.36	1.34	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27
5.40	1.86	1.69	1.55	1.45	1.39	1.36	1.34	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27
5.60	1.87	1.70	1.56	1.45	1.40	1.37	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27
5.80	1.87	1.70	1.56	1.45	1.40	1.37	1.35	1.33	1.32	1.30	1.29	1.28	1.28
6.00	1.87	1.71	1.56	1.46	1.40	1.37	1.35	1.33	1.32	1.30	1.29	1.28	1.28
6.20	1.88	1.71	1.57	1.46	1.40	1.37	1.35	1.33	1.32	1.30	1.29	1.28	1.28
6.40	1.88	1.72	1.57	1.46	1.40	1.37	1.35	1.33	1.32	1.30	1.29	1.28	1.28
6.60	1.88	1.72	1.57	1.46	1.40	1.37	1.35	1.33	1.32	1.30	1.29	1.28	1.28
6.80	1.89	1.72	1.57	1.46	1.41	1.38	1.35	1.33	1.32	1.30	1.29	1.28	1.28
7.00	1.89	1.72	1.58	1.46	1.41	1.38	1.36	1.33	1.32	1.30	1.30	1.29	1.28
7.20	1.89	1.73	1.58	1.47	1.41	1.38	1.36	1.34	1.32	1.30	1.30	1.29	1.28
7.40	1.90	1.73	1.58	1.47	1.41	1.38	1.36	1.34	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28

Taulukko 17. Latvamuotoluvut, metriset mitat.
Table 17. Top form factors, metric measures.

Kuusi — *Spruce* Tyvitukit — *Butt logs* Pohjois-Suomi — *North Finland*

Pituus, metriä *Length, metres*	Latvaläpimitta kuoretta, cm — *Top diameter inside bark, cm*												
	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
	Latvamuotoluku — *Top form factor*												
3.00	1.60	1.50	1.47	1.44	1.41	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32
3.20	1.62	1.53	1.48	1.45	1.42	1.40	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32
3.40	1.65	1.56	1.50	1.46	1.43	1.41	1.39	1.38	1.36	1.35	1.35	1.34	1.33
3.60	1.69	1.59	1.51	1.47	1.44	1.42	1.39	1.38	1.37	1.35	1.35	1.34	1.33
3.80	1.73	1.61	1.53	1.48	1.45	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33
4.00	1.77	1.64	1.55	1.50	1.46	1.43	1.41	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33
4.20	1.81	1.66	1.56	1.51	1.47	1.44	1.41	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33
4.40	1.84	1.68	1.57	1.52	1.47	1.44	1.41	1.39	1.38	1.36	1.35	1.34	1.33
4.60	1.86	1.70	1.59	1.53	1.48	1.45	1.42	1.40	1.38	1.36	1.35	1.34	1.33
4.80	1.87	1.71	1.59	1.53	1.48	1.45	1.42	1.40	1.38	1.37	1.35	1.34	1.33
5.00	1.89	1.73	1.60	1.54	1.49	1.46	1.43	1.40	1.39	1.37	1.36	1.34	1.33
5.20	1.91	1.74	1.61	1.55	1.50	1.46	1.43	1.41	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34
5.40	1.92	1.75	1.62	1.55	1.50	1.47	1.43	1.41	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34
5.60	1.94	1.76	1.63	1.56	1.51	1.47	1.44	1.41	1.39	1.38	1.37	1.35	1.34
5.80	1.95	1.77	1.64	1.57	1.51	1.48	1.44	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35
6.00	1.96	1.77	1.64	1.57	1.52	1.48	1.45	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35
6.20	1.97	1.78	1.65	1.58	1.52	1.49	1.45	1.42	1.40	1.39	1.37	1.36	1.35
6.40	1.98	1.79	1.65	1.58	1.53	1.49	1.45	1.43	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36
6.60	1.98	1.79	1.66	1.59	1.53	1.49	1.46	1.43	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36
6.80	1.99	1.80	1.66	1.59	1.54	1.50	1.46	1.43	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36
7.00	2.00	1.80	1.67	1.60	1.54	1.50	1.47	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37
7.20	2.00	1.81	1.67	1.60	1.55	1.51	1.47	1.44	1.42	1.40	1.39	1.38	1.37
7.40	2.01	1.81	1.67	1.60	1.55	1.51	1.47	1.44	1.42	1.41	1.40	1.38	1.37

Taulukko 18. Latvamuotoluvut, metriset mitat.
Table 18. Top form factors, metric measures.

Kuusi — *Spruce* Kaikki tukit — *All logs* Pohjois-Suomi — *North Finland*

Pituus, metriä *Length, metres*	Latvaläpimitta kuoretta, cm — *Top diameter inside bark, cm*												
	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
	Latvamuotoluku — *Top form factor*												
3.00	1.88	1.67	1.53	1.46	1.42	1.40	1.38	1.36	1.35	1.33	1.32	1.32	1.31
3.20	1.89	1.69	1.54	1.47	1.43	1.40	1.38	1.36	1.35	1.34	1.33	1.33	1.32
3.40	1.90	1.70	1.55	1.48	1.44	1.41	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32
3.60	1.92	1.71	1.56	1.48	1.44	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33
3.80	1.93	1.73	1.57	1.49	1.45	1.42	1.41	1.39	1.37	1.36	1.35	1.35	1.34
4.00	1.94	1.74	1.58	1.50	1.46	1.44	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.35
4.20	1.95	1.76	1.59	1.51	1.47	1.44	1.42	1.39	1.38	1.37	1.36	1.36	1.35
4.40	1.96	1.77	1.60	1.52	1.48	1.45	1.42	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35
4.60	1.97	1.78	1.61	1.53	1.49	1.46	1.43	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35
4.80	1.98	1.79	1.63	1.54	1.50	1.46	1.43	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.36
5.00	1.98	1.80	1.64	1.55	1.50	1.47	1.43	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.36
5.20	1.99	1.81	1.65	1.56	1.51	1.47	1.44	1.41	1.39	1.38	1.37	1.37	1.36
5.40	1.99	1.82	1.66	1.56	1.52	1.47	1.44	1.41	1.39	1.38	1.37	1.37	1.36
5.60	2.00	1.82	1.67	1.57	1.52	1.48	1.44	1.41	1.39	1.38	1.37	1.37	1.36
5.80	2.01	1.83	1.67	1.58	1.53	1.48	1.44	1.41	1.40	1.38	1.39	1.37	1.36
6.00	2.01	1.83	1.68	1.58	1.53	1.48	1.44	1.41	1.40	1.38	1.37	1.37	1.36
6.20	2.02	1.84	1.69	1.59	1.53	1.48	1.44	1.41	1.40	1.38	1.37	1.37	1.36
6.40	2.02	1.84	1.70	1.60	1.54	1.48	1.44	1.41	1.40	1.38	1.37	1.37	1.36
6.60	2.03	1.84	1.70	1.60	1.54	1.48	1.44	1.41	1.40	1.38	1.37	1.37	1.36
6.80	2.03	1.84	1.70	1.60	1.54	1.48	1.44	1.41	1.39	1.38	1.38	1.37	1.36
7.00	2.03	1.85	1.71	1.61	1.54	1.48	1.44	1.41	1.40	1.38	1.38	1.37	1.36
7.20	2.03	1.85	1.71	1.61	1.54	1.48	1.44	1.41	1.40	1.38	1.38	1.37	1.36
7.40	2.04	1.85	1.71	1.61	1.54	1.48	1.44	1.41	1.40	1.38	1.38	1.37	1.36

Taulukko 19. 1″ ja 1 cm:n alenevista luokituksista aiheutuvat korjaustekijät.
Table 19. Correction factors caused 1″ and 1 cm lowered classifications.

1″ aleneva *1″ lowered*		1 cm:n aleneva *1 cm lowered*			
D_1'', D_t'',	korj. tekijä *correct. fact.*	D_1, cm D_t, *cm*	korj. tekijä *correct. fact.*	D_1, cm D_t, *cm*	korj. tekijä *correct. fact.*
5	1.102	12	0.920	24	0.959
6	1.085	13	0.925	25	0.960
7	1.073	14	0.930	26	0.962
8	1.063	15	0.934	27	0.963
9	1.056	16	0.938	28	0.965
10	1.051	17	0.942	29	0.966
11	1.045	18	0.945	30	0.967
12	1.042	19	0.948	31	0.968
13	1.039	20	0.951	32	0.969
14	1.036	21	0.953	33	0.970
		22	0.955	34	0.971
		23	0.957	35	0.972

Taulukko 20. Taulukoiden perustana olevasta 5″ tasausvarasta poikkeavien tasausvarojen pituuksien aiheuttamat korjaustekijät.
Table 20. Correction factors required for the allowances which differ from the 5″ allowance on which the tables are based.

Nimell. pituus, jalkaa *Nominal length, feet*	Tasausvara, tuumaa, — *Allowance, inches*							
	2	3	4	6	7	8	9	10
	Korjauskerroin — *Correction factor*							
10	0.976	0.984	0.992	1.008	1.016	1.024	1.032	1.040
11	0.978	0.985	0.993	1.007	1.015	1.022	1.029	1.036
12	0.980	0.987	0.993	1.007	1.013	1.020	1.027	1.034
13	0.981	0.988	0.994	1.006	1.012	1.019	1.025	1.031
14	0.983	0.988	0.994	1.006	1.012	1.017	1.023	1.029
15	0.984	0.989	0.995	1.005	1.011	1.016	1.022	1.027
16	0.985	0.990	0.995	1.005	1.010	1.015	1.020	1.025
17	0.986	0.990	0.995	1.005	1.010	1.014	1.019	1.024
18	0.986	0.991	0.995	1.005	1.009	1.014	1.018	1.023
19	0.987	0.991	0.996	1.004	1.009	1.013	1.017	1.021
20	0.988	0.992	0.996	1.004	1.008	1.012	1.016	1.020
21	0.988	0.992	0.996	1.004	1.008	1.012	1.016	1.019
22	0.989	0.993	0.996	1.004	1.007	1.011	1.015	1.019
23	0.989	0.993	0.996	1.004	1.007	1.011	1.014	1.018
24	0.990	0.993	0.997	1.003	1.007	1.010	1.014	1.017

Taulukko 21. Taulukoiden perustana olevasta 12.5 cm tasausvarasta poikkeavien tasausvarojen pituuksien aiheuttamat korjaustekijät.
Table 21. Correction factors required for the allowances which differ from the 12.5 cm allowation on which the tables are based.

Nimell. pituus, metriä *Nominal length, feet*	Tasausvara, cm — *Allowance, inches*							
	5.0	7.5	10.0	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0
	Korjauskerroin — *Correction factor*							
3.00	0.976	0.984	0.992	1.008	1.016	1.024	1.032	1.040
3.40	0.979	0.986	0.993	1.007	1.014	1.021	1.028	1.035
3.80	0.981	0.987	0.994	1.006	1.013	1.019	1.025	1.032
4.20	0.983	0.988	0.994	1.006	1.012	1.017	1.023	1.029
4.60	0.984	0.989	0.995	1.005	1.011	1.016	1.021	1.026
5.00	0.985	0.990	0.995	1.005	1.010	1.015	1.020	1.024
5.40	0.986	0.991	0.995	1.005	1.009	1.014	1.018	1.023
5.80	0.987	0.992	0.996	1.004	1.008	1.013	1.017	1.021
6.20	0.988	0.992	0.996	1.004	1.008	1.012	1.016	1.020
6.60	0.989	0.993	0.996	1.004	1.007	1.011	1.015	1.019
7.00	0.989	0.993	0.996	1.004	1.007	1.011	1.014	1.018
7.40	0.990	0.993	0.997	1.003	1.007	1.010	1.013	1.017

Taulukko 22. Kapeimmalta puolen mittauksen aiheuttamat korjaustekijät.
Table 22. Correction factors required for measuring on the thinnest side.

Puulaji *Tree species*	Etelä-Suomi *South Finland*	Pohjois-Suomi *North Finland*
Mäntytukit — *Pine logs*	1.028	1.033
Kuusitukit — *Spruce logs*	1.025	1.034

SARKALEVEYDEN JA OJASYVYYDEN VAIKUTUKSESTA SUON VESITALOUTEEN JA VALUNTAAN

OLAVI HUIKARI, KIMMO PAARLAHTI, EERO PAAVILAINEN
JA HEIKKI RAVELA

ON THE EFFECT OF STRIP-WIDTH AND DITCH-DEPTH ON WATER ECONOMY AND RUNOFF ON A PEAT SOIL

SUMMARY

HELSINKI 1966

Helsinki 1966. Valtioneuvoston kirjapaino

Alkusanat

Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston toimesta aloitettiin soiden metsäojituksen vesitaloudellisten vaikutusten perusteita selvittävien erikoiskoekenttien perustaminen 1950-luvun alkuvuosina oja-aurojen ojituksen kustannuksia alentavan ja toteuttamislaajuutta suurentavan vaikutuksen selvittyä.

Vuonna 1954—55 saatiin metsähallituksen avustamana valmiiksi eri puolille maata seitsemän sarkaleveyskoekenttää yhdellä ojasyvyydellä osittain salaojituksena ja osittain avo-ojituksena. Näistä on Parkanon Liesnevan koekentillä suoritettujen tutkimusten tuloksista osa julkaistu aikaisemmin. Niissä osoitettiin sarkaleveyden tärkeä merkitys sekä ojitusalueen sisäisessä että ulkoisessa vesitaloudessa. Sarkaleveyskoekenttien verkkoa on tämän jälkeen laajennettu pyrkien myös aikaansaamaan rinnakkaiskenttiä eri ojasyvyyksillä.

Tämän tutkimuksen koekenttä perustettiin Pohjois-Satakunnan metsäkoeaseman alueelle välittömästi koeaseman perustamisen jälkeen. Koekenttä sekä tutkimuksen kokonaisohjelma, sen toteuttaminen ja rahoitus sekä tutkimusaineiston käsittely on suunniteltu sekä valvottu suontutkimusosaltolta allekirjoittaneen ja metsät. lis. Kimmo Paarlahden toimesta. Metsät.tri Eero Paavilainen on paikanpäällä valvonut koekentän perustamistöitä sekä mittauslaitteiden asennuksen ja mittausten suorituksen ja osallistunut tutkimusjulkaisun viimeistelyyn. Metsänhoitaja Heikki Ravela on suorittanut päätyön tässä julkaisussa esitettyjen tulosten laskennassa ja tulkinnassa.

Koekenttä on perustettu työllisyystöinä vaikeissa olosuhteissa. Esitän tässä parhaimmat kiitokset työntekijöille ja työnjohtajille heidän työstään koekentän perustamisessa ja kenttämittauksissa sekä aineiston käsittelyn avustamisessa samoin myös työtovereilleni ja koekentän perustamiseen varat myöntäneille työllisyysviranomaisille.

Mittauspatojen asentamisessa ja mittausmenetelmien valinnassa olemme saaneet asiantuntija-apua tekn.tri Seppo Mustoselta.

Käsikirjoituksen ovat lukeneet professori Heikki Simojoki ja professori Matti Wäre ja tekn. tri Seppo Mustonen tehden siihen useita varteen otettuja korjauksia, esitän heille parhaat kiitokset. Julkaisun käännöstyöt on suorittanut metsänhoitaja Karl-Johan Ahlsved.

Helsingissä 17. heinäkuuta 1966

Olavi Huikari

Sisällysluettelo

Sivu

1. Koekentän kuvaus 7
2. Mittausten suoritus ja tulosten käsittely 9
   21. Valunta 9
   22. Pohjavesi 10
   23. Säähavainnot 10
3. Havaintokausien sääolot 10
   31. Sadanta 10
   32. Keskilämpötilat 11
4. Valunta 12
   41. Kuukausihavainnot 12
   42. Sadejaksovalunta ja poutajaksovalunta 14
   43. Kokonaisvalunta 18
   44. Ylivirtaama 20
   45. Suon vesitalous kesän havaintojen valossa 25
5. Pohjavesi 26
   51. Pohjaveden kestävyys 26
   52. Pohjavesihavaintojen kuukausimediaanit 27
   53. Sääolojen vaikutus pohjavesipinnan korkeuteen 30
6. Valunnan riippuvuus eri tekijöistä 32
   61. Sarkaleveys ja ojasyvyys 32
   62. Pohjaveden korkeus 34
7. Loppukatsaus 35
8. Summary 37

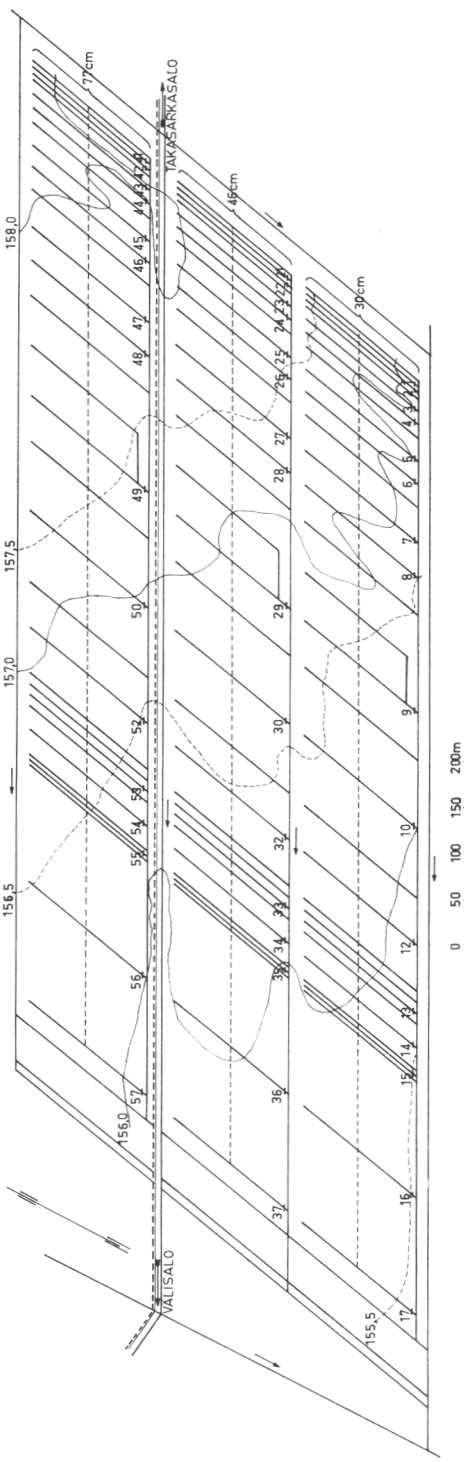
1. KOEKENTÄN KUVAUS

Koekenttä (kuva 1) sijaitsee metsäntutkimuslaitoksen Pohjois-Satakunnan koeaseman alueella Alkkiannevalla. Paikan korkeus merenpinnasta on 155—159 m.

Koekenttä on suotyypiltään rimpistä rahkanevaa, jossa turvekerroksen syvyys on kauttaaltaan yli 2 m. Koekentän ojat kaivettiin vuosina 1961—1963 sekä mittapatojen 12—15 väliset jyrsinojat kesäkuussa 1964. Ojitusalueen laajuus on n. 40 ha. Koekentällä on käytetty kolmea ojasyvyyttä ja seitsemää eri sarkaleveyttä.

Ojasyvyyksien perusteella koekenttä jakaantuu kolmeen osaan (kuva 1). Eteläisimmällä osalla ojat on kaivettu 30 cm:n syvyisiksi ojajyrsimellä, joka heittää ojamaat hienoksi jauhettuna pehkuna n. 3 metrin etäisyydelle ojasta. Keskimmäisellä kentällä kaivettiin ojat traktorikaivurilla 80 cm:n syvyisiksi ja pohjoisimmalla kentällä 110 cm:n syvyisiksi. Turpeen painumisen takia ovat kaksi viimeksimainittua ojasyvyyttä madaltuneet 60 cm:n ja 90 cm:n syvyisiksi. Mittapadot on asetettu ojiin siten, että 30 cm:n ojilla on patoaukon pohja 10 cm:n korkeudella ojan pohjasta sekä 60 cm:n ja 90 cm:n ojilla 30 cm:n korkeudella ojan pohjasta. Kun ojat lisäksi ovat melko huonolaskuisia — keskimääräinen ojanpohjan kaltevuus on 30 cm:n kentällä 0.0029, 60 cm:n kentällä 0.0019 ja 90 cm:n kentällä 0.0022 — johtuu tästä, että vedenpinnan ollessa patoaukon pohjan tasalla, jää hyvin huomattava osa ojanpohjan pituudesta veden peittoon. Näinollen tehollinen ojasyvyys jää pienemmäksi kuin ilmoitettu nimellinen ojasyvyys. Eteläisimmällä kentällä on tästä aiheutuva vähennys keskimäärin vajaan yhden senttimetrin luokkaa, joten 30 cm:n ojia voidaan tehollisestikin pitää ilmoitetun syvyisinä. Sensijaan 60 cm:n ojien tehollinen syvyys on keskimäärin 46 cm:ä ja 90 cm:n ojien tehollinen syvyys 77 cm:ä. Jäljempänä tarkoitetaan ojasyvyyksistä puhuttaessa edellä mainittuja tehollisia ojasyvyyksia.

Kullakin ojasyvyyskentällä on seitsemän sarkaleveyttä, nimittäin 5, 10, 20, 30, 40, 60 ja 100 metriä. Valuntamittaukset on yleensä tehty samanlevyisten sarkojen välissä olevista ojista, jolloin valuma-alueen leveys on sama kuin sarkaleveys. Lisäksi alueella on mittapadot 11, 31 ja 51, joiden toisella puolen on 60 m:n levyinen sarka ja toisella puolen 40 m:n levyinen



Kuva 1. Alkkian koekentän ojat ja mittapatojen sekä pohjavesikaivolinjojen sijainti.
Figure 1. The ditches and location of measuring weirs and ground water lines on the experimental field at Alkkia.

sarka valuma-alueen leveyden ollessa 50 metriä, sekä mittapadot 17, 37 ja 57, joissa ojan toisella puolen on 20 m:n ja toisella puolen 100 m:n levyinen sarka, valuma-alueen leveyden ollessa 60 metriä. Valuntalaskelmissa nämä padot on otettu mukaan. Kullakin kentällä on lisäksi kaksi vierekkäistä 40 m:n sarkaa liitetty yhdysojalla samaan patoon kuuluviksi limnigrafilla tapahtuvaa valuntamittausta varten (mittapadot 9, 29 ja 49). Alla olevassa asetelmassa on ilmoitettu, montako samanlevyistä sarkaa on yhdellä ojasyvyyskentällä:

Sarkaleveys, m	Kpl
5	5
10	6
20	6
30	3
40	5
60	2
100	2

Sarkojen pituus on 30 cm:n ja 46 cm:n ojasyvyyskentillä 160 m ja 77 cm:n ojasyvyyskentällä 155 m.

Sarkojen sijainti käy ilmi karttapiirroksesta (kuva 1).

Koekentällä on suoritettu metsänviljely v. 1963 männyn istutusta ja kylvöä käyttäen. Lisäksi koekenttä on lannoitettu. Taimet ovat vielä niin pieniä, etteivät ne ole muuttaneet koekentän avosuoluonnetta.

2. MITTAUSTEN SUORITUS JA TULOSTEN KÄSITTELY

21. Valunta

Valunnan mittaus tapahtui ns. Thompsonin ylisyöksypadolla. Sen muodostaa ohueen teräslevyyn leikattu suorakulmaisen tasasivuisen kolmion muotoinen aukko. Virtaama (l/s) voidaan laskea kaavasta

$$(1)\quad Q = 0.0146 \cdot h^{5/2}$$

kun tunnetaan vedenkorkeus (h) patoaukossa senttimetreissä lausuttuna. Mittapatojen sijainti ilmenee kuvasta 1. Ne on asetettu sarkaojiin samalle korkeudelle n. 5 metrin päähän valtaojasta. Patoaukkojen pohjan korkeus ojanpohjasta oli sovitettu sellaiseksi, että ne ylivalumankin aikana toimisivat ylisyöksypatoina. Patoaukkojen korkeus pohjasta harjaan mitattuna oli 150 mm.

Vedenpinnan kkoreus patoaukoissa havaittiin päivittäin mittaamalla vesipinnan ja padonharjan välinen etäisyys millimetrin tarkkuudella. Lisäksi

oli padoilla 9, 29 ja 49 piirtävä vedenkorkeusmittari eli limnigrafi, jonka piirtosuhde oli 1 : 1. Piirturin uimuriputki oli kahden metrin päässä patoaukosta, jotta se ei itse vaikuttaisi veden korkeuteen padossa. Myös näillä padoilla suoritettiin vedenpinnan korkeuden mittaus kerran päivässä. Näin varmistuttiin siitä, että piirturin asema patoaukon pohjaan nähden pysyi vakaana. Patoaukot oli suojattu verkolla tukkeutumisen estämiseksi. Kaikilla padoilla mitattiin myös vuorokauden ylin vedenkorkeus vaihdettavan indikaattoripaperiliuskan avulla.

Päivittäiset vedenkorkeushavainnot (mm) muutettiin virtaamiksi (l/s) kaavan (1) avulla. Senjälkeen laskettiin kunkin padon valuma-alueen pinta-ala. Tämä tapahtui siten, että oletettiin vedenjakajan sijaitsevan kunkin saran keskiviivalla. Kaavan

(2) $86400 \cdot Q/A$ = valunta vuorokaudessa mm

avulla laskettiin kultakin padolta vuorokaudessa tapahtunut valunta millimetreissä. Q = virtaama (l/s) ja A = valuma-alueen pinta-ala (m^2).

Kesän aikana tehtiin n. 8 000 valuntahavaintoa.

22. Pohjavesi

Pohjavesihavaintoja varten oli kullakin ojasyvyyskoekentällä pohjavesikaivolinja (kuva 1), joka käsitti 213 metrin syvyistä ja 10 cm läpimittaista avokaivoa. Kullakin saralla oli 3—25 kaivoa sarkaleveydestä riippuen. Pohjavedenpinnan etäisyys luettiin kalibroidun mittapaalun päästä senttimetrin tarkkuudella päivittäin. Pohjavesihavaintoja kertyi n. 50 000 kpl.

23. Säähavainnot

Säähavaintoja varten oli Alkkiannevalla kaksi sääasemaa, joilla mitattiin vuorokauden minimi- ja maksimilämpötilat sekä sadanta. Ensimmäisellä asemalla oli neljä sademittaria ja toisella kolme. Sademittarien havainnot poikkesivat vain vähän toisistaan rankkojenkin sateiden jälkeen, joten vuorokauden sadantana pidettiin mittarilukemien keskiarvoa.

3. HAVAINTOKAUSIEN SÄÄOLOT

31. Sadanta

Taulukossa 1 on esitetty touko—lokakuun sademäärät Alkkiannevalla v. 1964 sekä vastaavat keskimääräiset arvot vuosilta 1946—1960. Luvuista nähdään, että alkukesä vuonna 1964 on ollut kuiva, varsinkin heinäkuu on ollut normaalia huomattavasti vähäsateisempi. Sensijaan loppukesä on ollut

normaalia runsassateisempi. Kaikkien kuuden kuukauden sadanta on kokonaismäärältään suunnilleen keskimääräistä tasoa.

Mitä sateiden voimakkuuteen tulee, havaitaan siinäkin selvä ero alkukesän ja loppukesän välillä. Rankimmat sateet ovat sattuneet lokakuussa ja elokuun lopussa.

Taulukko 1. Sadanta touko—lokakuussa 1964 Alkkiannevalla (mm/kk), päivien lukumäärä, jolloin sadanta on ollut > 0.1 mm, > 1.0 mm ja > 10.0 mm sekä keskimääräinen kuukausisadanta vv. 1946—1960.

Table 1. Monthly precipitation (mm) at Alkkianneva from May through October, 1964; number of days with rainfall > 0.1 mm, > 1.0 mm, and > 10.0 mm; average monthly precipitation in 1946—60 in the vicinity.

Kuukausi *Month*	Sadanta 1964 mm/kk *Precipitation in 1964 mm/month*	Sadepäiviä, kpl *Number of days with rainfall*			Sadanta 1946—60 mm/kk *Monthly precipitation in 1946—60, mm*
		> 0.1 mm/vrk > *0.1 mm/day*	> 1.0 mm/vrk > *1.0 mm/day*	> 10.0 mm/vrk > *10.0 mm/day*	
Toukokuu — *May*	25.0	15	7	0	43.3
Kesäkuu — *June*	42.1	12	6	1	57.9
Heinäkuu — *July*	32.7	14	10	0	80.4
Elokuu — *August*	123.5	15	13	2	73.5
Syyskuu — *September* ..	60.5	18	14	2	54.7
Lokakuu — *October*	57.8	12	10	3	55.9
Yhteensä — *Total*	341.6	86	60	8	365.7

32. Keskilämpötilat

Taulukossa 2 on esitetty lämpötilahavainnot Alkkiannevan sääasemalla touko—lokakuussa v. 1964. Taulukossa on esitetty kuukausien keskilämpötilat sekä kuukausien keskimääräiset minimi- ja maksimilämpötilat. Huomiota kiinnittää erikoisesti se seikka, että kaikkina kesäkuukausina on esiintynyt hallaöitä.

Taulukko 2. Keskilämpötilat touko—lokakuussa v. 1964 Alkkiannevalla, kuukausien minimi- ja maksimilämpötilat sekä keskimääräiset vuorokautiset minimi- ja maksimilämpötilat.

Table. 2. Mean temperatures from May through October, 1964 at Alkkianneva, minimum and maximum temperatures of the different months, and means of the daily minimum and maximum temperatures.

Kuukausi *Month*	Keskilämpötila *Mean temperature*	Min.	Max.	Keskim. *Daily means*	
	°C	°C	°C	min. °C	max. °C
Toukokuu — *May*	+ 11.7	— 6.5	+ 26.5	+ 0.6	+ 16.2
Kesäkuu — *June*	+ 14.1	— 4.5	+ 31.5	+ 4.4	+ 14.1
Heinäkuu — *July*	+ 18.4	— 4.5	+ 31.0	+ 4.9	+ 23.0
Elokuu — *August*	+ 14.3	— 4.0	+ 29.5	+ 6.9	+ 19.6
Syyskuu — *September* ..	+ 8.1	— 3.5	+ 20.0	+ 2.8	+ 12.8
Lokakuu — *October*	+ 4.9	— 7.5	+ 17.0	+ 1.5	+ 9.3

4. VALUNTA

41. Kuukausihavainnot

Vedenkorkeus mitattiin kaikilla padoilla päivittäin touko- lokakuun aikana v. 1964. Taulukoissa 3 (a, b ja c) on esitetty eri kuukausina tapahtunut valunta. Padoilta 12, 13, 14 ja 15 ei ollut havaintoja touko—kesäkuun ajalta. Padoilla 21, 41 ja 55 epäonnistuivat mittapatojen perustamistyöt niin, että tuloksia ei ole tässä yhteydessä käsitelty.

Luvuista nähdään, että valunta on ollut vähäisintä kesäkuussa ja runsainta toukokuussa sekä lokakuussa. Eri ojasyvyyksien välillä on myös selvät erot, esim. 30 cm:n ojat ovat olleet heinäkuussa kuivina, kun sensijaan 90 cm:n ojista on kolmea lukuunottamatta valunut vesiä heinäkuussakin. Loppusummista havaitaan, että samalla ojasyvyydellä samankin sarkaleveyden ollessa kyseessä tulokset vaihtelevat suuresti. Kun valunta-alueen maanpinta on rimpisyyden ja jänteisyyden takia epätasaisesti pinnan pienaltaista muodostunut, aiheuttaa tämä valuntaan tuloksissa tuntuvaa vaihtelua, joka on katsottava tyypilliseksi rimpisille rahkanevoille.

Taulukko 3 a. Valuntahavainnot touko—lokakuussa v. 1964 mittapadoilta 1—17 (ojasyvyys 30 cm).

Table 3 a. Runoff observations from May through October, 1964 at measuring weirs 1—17 (ditch depth, 30 cm).

Mittapato *Measuring weir*	Toukokuu *May*	Kesäkuu *June*	Heinäkuu *July*	Elokuu *August*	Syyskuu *September*	Lokakuu *October*	Yhteensä *Total*	Sarkaleveys *Strip width*
	mm/kk *mm/month*	mm/kk *mm/month*	mm/kk *mm/month*	mm/kk *mm/month*	mm/kk *mm/month*	mm/kk *mm/month*	mm *mm*	m *m*
1	24.2	—	—	13.4	47.8	50.0	135.4	5
2	8.8	—	—	11.0	47.7	21.1	88.6	5
3	21.6	—	—	7.9	28.0	34.3	91.8	10
4	24.8	—	—	16.0	45.1	44.7	130.6	10
5	52.2	5.7	—	13.7	23.9	30.9	126.4	20
6	12.7	0.4	—	7.4	22.6	25.2	68.3	20
7	8.3	0.6	—	4.4	16.4	22.7	52.4	30
8	11.0	0.8	—	6.1	19.6	24.3	61.8	30
9	9.7	0.5	—	8.6	17.1	31.3	67.2	2×40
10	7.1	—	—	1.7	5.1	15.6	29.7	60
11	4.1	0.4	—	2.2	5.3	22.3	34.3	50
12	..	..	—	6.0	24.0	30.0	..	40
13	..	..	—	29.8	96.1	60.8	..	10
14	..	..	—	17.9	70.8	29.9	..	20
15	..	..	—	18.0	8.8	41.6	..	5
16	9.6		—	4.3	15.0	18.5	48.2	100
17	2.1		—	3.1	0.7	2.4	8.3	60

.. havainnot puuttuvat — *no observations*

Taulukko 3 b. Valuntahavainnot touko—lokakuussa v. 1964 mittapadoilta 21—37 (ojasyvyys 46 cm).

Table 3 b. Runoff observations from May through October, 1964 at measuring weirs 21—37 (ditch depth, 46 cm).

Mittapato *Measuring weir*	Toukokuu *May* mm/kk *mm/month*	Kesäkuu *June* mm/kk *mm/month*	Heinäkuu *July* mm/kk *mm/month*	Elokuu *August* mm/kk *mm/month*	Syyskuu *September* mm/kk *mm/month*	Lokakuu *October* mm/kk *mm/month*	Yhteensä *Total* mm *mm*	Sarkaleveys *Strip width* m *m*
21	.	.	.	.	.	.	.	5
22	—	—	—	—	—	—	.	5
23	14.0	—	—	0.3	25.5	32.3	72.1	10
24	19.6	6.0	—	12.3	70.3	51.5	160.0	10
25	38.6	15.5	—	7.5	17.7	30.5	109.8	20
26	36.9	38.0	8.9	48.9	70.4	52.2	255.3	20
27	17.6	13.3	2.1	19.6	29.9	32.8	115.3	30
28	22.2	5.4	—	14.3	35.0	31.2	108.1	30
29	20.4	6.8	0.9	1.6	16.8	29.8	76.3	2×40
30	18.4	3.2	—	10.9	28.5	30.5	91.5	60
31	9.6	1.4	—	4.4	21.5	25.8	62.7	50
32	23.9	8.5	—	10.7	28.3	32.9	104.3	40
33	77.5	9.0	—	6.7	25.1	33.6	151.9	10
34	17.3	14.8	0.4	9.7	15.2	23.2	80.6	20
35	27.1	24.7	—	13.4	38.7	37.9	141.8	5
36	4.1	1.8	0.3	0.4	—	0.2	6.8	100
37	15.0	5.9	—	9.6	12.1	17.3	59.9	60

. mittaus epäonnistunut — *measurements not successful*

Taulukko 3 c. Valuntahavainnot touko—lokakuussa mittapadoilta 41—57 (ojasyvyys 77 cm).

Table 3 c. Runoff observations from May through October, 1964 at measuring weirs 41—57 (ditch depth, 77 cm).

Mittapato *Measuring weir*	Toukokuu *May* mm/kk *mm/month*	Kesäkuu *June* mm/kk *mm/month*	Heinäkuu *July* mm/kk *mm/month*	Elokuu *August* mm/kk *mm/month*	Syyskuu *September* mm/kk *mm/month*	Lokakuu *October* mm/kk *mm/month*	Yhteensä *Total* mm *mm*	Sarkaleveys *Strip width* m *m*
41	.	.	.	.	.	.	.	5
42	55.2	13.9	—	25.6	172.6	90.3	357.6	5
43	69.6	29.8	—	89.7	131.4	87.3	407.8	10
44	23.4	6.2	—	14.3	39.2	62.0	145.1	10
45	71.3	26.3	2.9	19.9	24.7	33.7	178.8	20
46	59.1	59.9	2.9	18.5	32.9	55.6	228.9	20
47	47.6	58.2	11.1	44.8	62.2	52.0	275.9	30
48	32.5	30.5	5.8	24.5	27.0	31.4	151.7	30
49	81.6	39.4	18.5	46.4	57.0	66.5	309.4	2×40
50	27.9	21.0	18.3	23.8	21.9	30.7	143.6	60
51	32.1	25.2	19.4	25.9	34.7	41.1	178.4	50
52	40.0	42.3	20.1	35.4	37.8	33.5	209.1	40
53	96.4	44.3	6.1	46.6	33.7	39.7	266.8	10
54	87.4	40.6	14.6	39.8	48.4	42.9	273.7	20
55	.	.	.	.	.	.	.	5
56	20.0	9.1	2.9	13.4	25.4	23.0	93.8	100
57	26.5	23.8	14.2	20.0	22.8	25.4	132.7	60

. mittaus epäonnistunut — *measurements not successful*

Taulukko 4 a. Valunnan jakaantuminen sadejaksovaluntaan ja poutajaksovaluntaan touko—lokakuussa mittapadoilla 1—17 (ojasyvyys 30 cm).

Table 4 a. Distribution of runoff in terms of runoff during rainy periods and during dry spells from May through October, 1964 at measuring weirs 1—17 (ditch depth, 30 cm).

Mittapato *Measuring weir*	Toukokuu *May*		Kesäkuu *June*		Heinäkuu *July*		Elokuu *August*		Syyskuu *September*		Lokakuu *October*		Koko kesä *Whole summer*		Sarkaleveys *Strip width*
	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	m *m*
1	—	24.2	—	—	—	—	—	13.4	4.1	43.7	8.6	41.4	12.7	122.7	5
2	—	8.8	—	—	—	—	—	11.0	7.0	40.7	4.3	16.8	11.3	77.3	5
3	0.5	21.1	—	—	—	—	—	7.9	2.6	25.4	5.3	29.0	8.4	83.4	10
4	1.4	23.5	—	—	—	—	—	16.0	8.7	36.4	9.8	34.9	19.9	110.8	10
5	9.7	42.5	1.2	4.5	—	—	—	13.7	7.6	16.3	9.6	21.3	28.1	98.3	20
6	0.9	11.8	—	0.4	—	—	—	7.4	4.6	18.1	7.0	18.3	12.5	56.0	20
7	1.1	7.2	—	0.6	—	—	—	4.4	6.0	10.5	6.6	16.0	13.7	38.7	30
8	1.4	9.5	—	0.8	—	—	—	6.1	6.3	13.4	7.9	16.4	15.6	46.2	30
9	1.3	8.4	—	0.5	—	—	—	8.6	4.4	12.8	10.5	20.8	16.2	51.1	2×40
10	0.8	6.4	—	—	—	—	—	1.7	0.8	4.3	5.3	10.5	6.9	22.9	60
11	0.7	3.4	—	0.4	—	—	—	2.2	1.5	3.8	8.2	14.0	10.4	23.8	50
12	..	..	..	..	—	—	—	6.0	8.1	16.0	10.8	19.3	..	..	40
13	..	..	..	..	—	—	—	29.8	27.9	68.2	10.8	50.0	..	..	10
14	..	..	..	..	—	—	—	17.9	20.4	50.4	8.2	21.7	..	..	20
15	..	..	..	..	—	—	—	18.0	—	8.8	—	41.6	..	..	5
16	1.3	8.3	0.3	0.5	—	—	0.2	4.1	5.7	9.3	7.1	11.4	14.6	33.6	100
17	0.1	2.0	—	—	—	—	—	3.1	0.2	0.5	0.3	2.1	0.6	7.7	60
Keskim. *Average*	1.3	9.1	0.1	0.5	—	—	—	5.4	3.8	10.2	6.9	14.5	12.1	39.7	

42. Sadejaksovalunta ja poutajaksovalunta

Kesän mittaan sattui useita rankkoja sateita, jotka kestivät sadepäivinä muutaman päivän kerrallaan. Näiden sadejaksojen välillä sää oli enimmäkseen poutainen ja lämmin. Tämä tarjosi hyvän mahdollisuuden valunnan jakamiselle sadejaksovaluntaan ja poutajaksovaluntaan. Sadejaksovaluntana pidettiin tällöin sadejakson aikana tapahtunutta valuntaa ja poutajaksovaluntana poutajakson aikana tapahtunutta valuntaa.

Seuraavassa asetelmassa on lueteltu kesän 1964 sadejaksot sekä niiden sademäärät. Lyhyitä tai pitemmänkin aikaa kestäneitä sateita ei ole otettu huomioon, jos ne ovat olleet määrältään pieniä.

Kuukausi	pvm	Vrk	Sadejakson osuus kuukauden sadannasta, %
toukokuu	2.—14.	13	91
kesäkuu	8.—12.	5	48
heinäkuu	3.—13.	11	98
	27.—30.	4	
elokuu	1.— 8.	8	92
	21.—31.	11	
syyskuu	14.—24.	11	73
	28.—30.	3	
lokakuu	12.—19.	8	96
	23.—26.	4	
		78	86

Taulukoissa 4 (a, b ja c) on esitetty valunnan jakaantuminen sadejaksovaluntaan ja poutajaksovaluntaan. Lisäksi on laskettu kullekin ojasyvyyskentälle valuma-alalla painotetut keskiarvot. Luvuista huomataan, että

Taulukko 4 b. Valunnan jakaantuminen sadejaksovaluntaan ja poutajaksovaluntaan mittapadoilla 21—37 (ojasyvyys 46 cm).

Table 4 b. Distribution of runoff in terms of runoff during rainy periods and during dry spells from May through October, 1964 at measuring weirs 21—37 (ditch depth, 46 cm).

Mittapato *Measuring weir*	Toukokuu *May*		Kesäkuu *June*		Heinäkuu *July*		Elokuu *August*		Syyskuu *September*		Lokakuu *October*		Koko kesä *Whole summer*		Sarkaleveys *Strip width*
	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	m *m*
21	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.	.	5
23	7.3	6.7	—	—	—	—	—	0.3	10.1	15.4	13.9	18.4	31.3	40.8	10
24	7.0	12.6	3.8	2.1	—	—	—	12.3	28.8	41.6	21.5	30.2	61.1	98.9	10
25	10.4	28.2	7.6	8.0	—	—	0.1	7.3	7.5	10.2	15.3	15.2	40.9	68.9	20
26	16.8	20.2	27.2	10.8	1.1	7.7	8.9	40.0	37.8	32.6	26.4	25.8	118.2	137.1	20
27	6.4	11.2	7.2	6.1	—	2.1	2.7	16.9	13.3	16.5	17.3	15.6	46.9	68.4	30
28	3.6	18.6	2.2	3.2	—	—	1.2	13.1	15.2	19.8	15.9	15.3	38.1	70.0	30
29	10.2	10.2	4.2	2.5	0.1	0.9	—	1.6	7.2	9.6	14.1	15.7	35.8	40.5	2×40
30	4.4	14.0	1.3	1.9	—	—	0.4	10.5	12.3	16.2	12.6	17.9	31.0	60.5	60
31	3.0	6.6	0.6	0.7	—	—	—	4.5	8.9	12.6	11.0	14.8	23.5	39.2	50
32	10.3	13.6	6.0	2.5	—	—	2.2	8.5	13.0	15.3	16.6	16.3	48.1	56.2	40
33	64.9	12.6	5.0	4.0	—	—	—	6.7	8.4	16.7	11.6	22.0	89.9	62.0	10
34	7.3	10.0	11.0	3.9	—	0.4	1.5	8.1	5.4	9.8	11.9	11.3	37.1	43.5	20
35	6.2	20.9	16.7	8.0	—	—	0.6	12.8	20.2	18.5	12.1	25.8	55.8	86.0	5
36	1.4	2.7	1.0	0.8	—	0.3	—	0.4	—	—	—	0.2	2.4	4.4	100
37	7.7	7.3	3.8	2.1	—	—	0.3	9.3	5.3	6.8	7.6	9.7	24.7	35.2	60
Keskim. *Average*	7.4	10.5	4.4	2.7	—	0.6	0.8	7.7	9.2	11.7	11.3	13.1	33.2	46.3	

Taulukko 4 c. Valunnan jakaantuminen sadejaksovaluntaan ja poutajaksovaluntaan touko—lokakuussa mittapadoilla 41—57 (ojasyvyys 77 cm).

Table 4 c. Distribution of runoff in terms of runoff during rainy periods and during dry spells from May through October, 1964 at measuring weirs 41—57 (ditch depth, 77 cm).

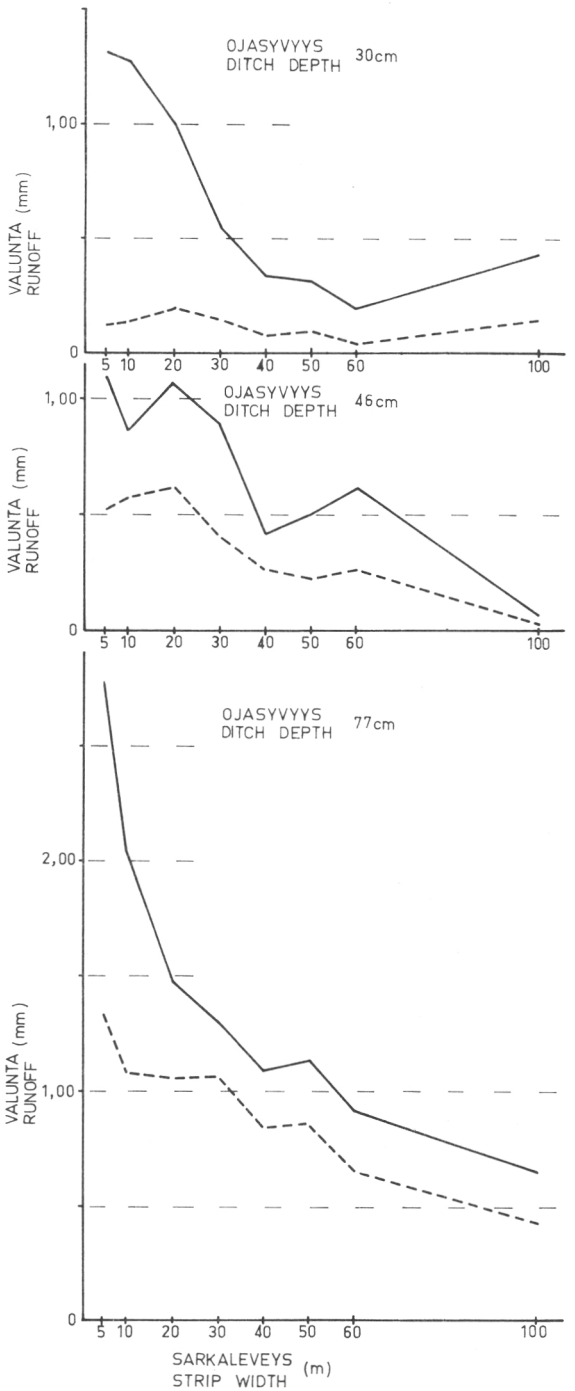
Mittapato *Measuring weir*	Toukokuu *May*		Kesäkuu *June*		Heinäkuu *July*		Elokuu *August*		Syyskuu *September*		Lokakuu *October*		Koko kesä *Whole summer*		Sarkaleveys *Strip width*
	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	Poutajaksovalunta	Sadejaksovalunta	m *m*
41	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
42	10.0	45.2	5.5	8.4	—	—	0.4	25.2	83.8	88.8	41.4	48.9	141.1	216.5	5
43	16.2	53.4	15.7	14.1	—	—	7.4	82.3	70.1	61.3	48.3	39.0	157.7	250.1	10
44	2.4	21.0	2.0	4.2	—	—	1.0	13.3	16.2	23.0	24.1	37.9	45.7	99.4	10
45	22.2	49.1	23.4	2.9	0.2	2.7	5.2	14.7	12.9	11.8	16.9	16.8	80.8	98.0	20
46	22.5	36.7	44.1	15.7	—	2.9	2.3	16.2	16.6	16.3	27.7	27.9	113.2	115.7	20
47	23.6	24.0	51.3	6.8	2.6	8.5	11.1	33.7	28.9	33.3	29.5	22.5	147.0	128.8	30
48	14.4	18.1	25.2	5.3	2.0	3.7	4.8	19.7	13.9	13.1	16.9	14.6	77.2	74.5	30
49	38.5	43.1	28.8	10.6	8.3	10.2	10.8	35.6	28.1	28.9	35.6	30.9	150.1	159.3	2×40
50	9.1	18.8	16.6	4.5	10.8	7.5	5.0	18.8	10.4	11.5	17.1	13.5	69.0	74.6	60
51	11.7	20.4	19.7	5.5	10.0	9.4	6.3	15.7	18.2	16.4	24.2	16.9	90.1	88.3	50
52	23.2	16.8	34.4	7.9	11.0	9.1	10.5	24.9	15.6	22.2	19.8	13.7	114.5	94.6	40
53	56.0	40.4	37.6	6.7	1.0	5.0	11.4	35.2	18.0	15.8	16.0	23.7	140.0	126.8	10
54	50.7	36.6	31.0	9.5	7.0	7.6	7.4	32.5	22.3	26.1	21.8	21.2	140.2	133.5	20
55	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
56	9.1	10.9	6.8	2.3	0.9	2.0	2.9	10.5	12.0	13.4	12.2	10.8	43.9	49.9	100
57	12.3	14.2	18.5	5.2	6.8	7.4	4.5	15.5	12.1	10.6	12.3	13.1	66.0	66.0	60
Keskim. *Average*	19.5	24.4	22.3	6.6	5.7	6.2	6.4	22.4	18.6	19.4	21.4	18.7	93.9	97.7	

poutajaksojen aikana on valunta ollut 24—70 % sateen aikana tapahtuneesta valunnasta. Ojasyvyys näyttää voimakkaasti vaikuttavan poutajakson valuntaan. Suoritettu varianssianalyysi osoitti, että myös sarkaleveys vaikuttaa poutajakson valuntaan, mutta vaikutus oli juuri merkitsevyyden rajoilla. Sensijaan sadeajan valuntaan on sekä ojasyvyydellä että sarkaleveydellä voimakas vaikutus (kuva 2).

Seuraavasta asetelmasta nähdään, kuinka monta prosenttia ojasysyys ja sarkaleveys selittävät poutajakson ja sadejakson valunnasta sekä hajonnan osuus.

	Ojasyvyys %	Sarkalevays %	Hajonta %
Poutajaksovalunta	63	12	25
Sadejaksovalunta	29	38	33

Tarkasteltaessa pouta- ja sadejaksovaluntaa ojasyvyyksittäin ja sarkaleveyksittäin, todettiin, että poutajaksovalunta eroaa ainoastaan 10 ja 20 m:n saroilla merkitsevästi 100 m saran poutajaksovalunnasta. Sadejakso-



Kuva 2. Sadejakson (———) ja poutajakson (— — —) valunta eri ojasyvyyksillä ja sarkaleveyksillä.
Figure 2. Runoff of the rainy period (———) and the dry period (— — —) on different ditch-depths and strip-widths.

valunta poikkeaa 5, 10 ja 20 m:n saralla merkitsevästi 100 m:n saran sadejaksovalunnasta ja 10 m:n sarka eroaa merkitsevästi jo 40 m:n sarasta. 5 m:n saran sadejaksovalunta on samaa suuruusluokkaa ainoastaan 10 m:n ja 20 m:n sarkojen kanssa, mutta jo 30 m:n sarka antaa selvästi pienemmän sadejaksovalunnan. Näinollen sarat 5—20 m muodostavat sadejaksovalunnan suhteen oman, muista poikkeavan ryhmänsä, jossa sadejaksovalunta on moninkertainen 100 m:n saran sadejaksovaluntaan verrattuna.

Ojasyvyyksistä ainoastaan 77 cm:n oja eroaa merkitsevästi muista, molemmat pienemmät ojasyvyydet eivät eronneet merkittävästi toisistaan. Tämä koskee sekä pouta- että sadejaksovaluntaa.

43. Kokonaisvalunta

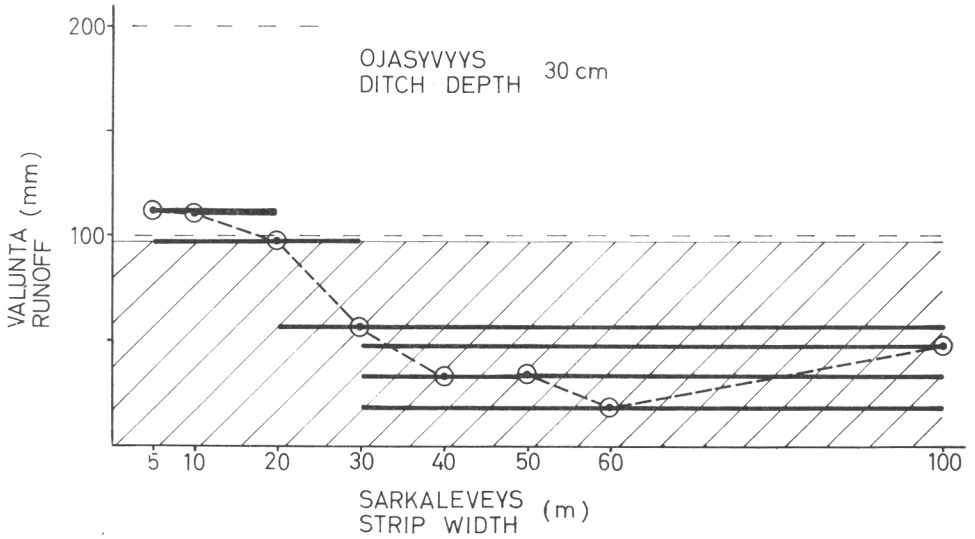
Varianssianalyysillä tutkittiin myös kesän kokonaisvalunnan riippuvuutta sarkaleveydestä ja ojasyvyydestä. Tulokset esitetään alla olevassa asetelmassa:

	Selitysvoimakkuus %
Ojasyvyys	48
Sarkaleveys	25
Hajonta	27

Ojasyvyyden lähes kaksi kertaa voimakkaampi vaikutus valuntaan selittyy sillä, että poutajaksovalunta, joka muodostaa huomattavan osan kesän kokonaisvalunnasta, riippuu valtaosalta ojasyvyydestä. Ojasyvyyksistä kuitenkin ainoastaan 77 cm:n ojan valunta erosi muista merkitsevästi.

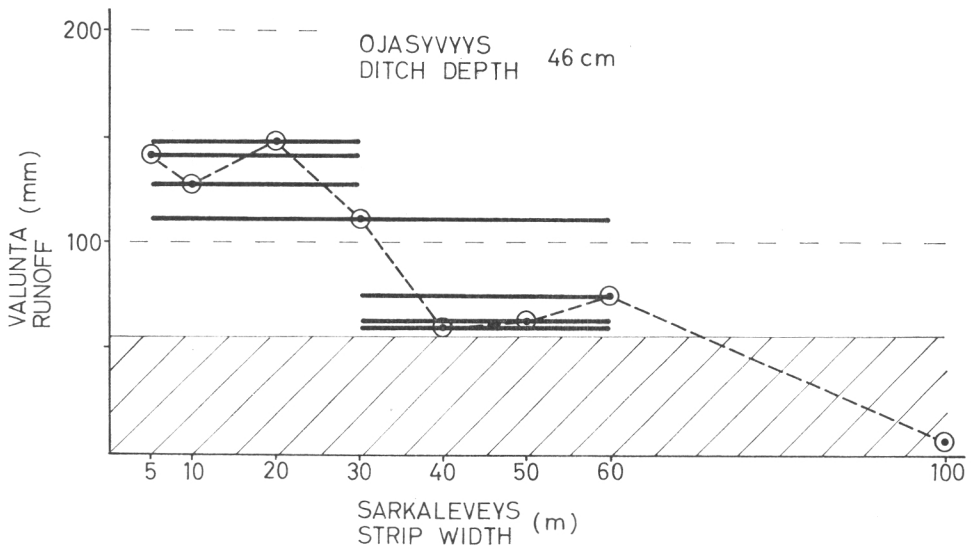
Tarkasteltaessa kokonaisvaluntaa sarkaleveyksittäin voidaan todeta, että ojasyvyyksillä 30 ja 46 cm vasta 30 m:n saran valunta on merkitsevästi suurempi kuin 100 m:n saran valunta. Sarkojen 5—30 m valunnat eivät kuitenkaan poikkea toisistaan merkitsevästi. Sensijaan ojasyvyydellä 77 cm jo 50 m:n saralla valunta on merkitsevästi suurempi kuin 100 m:n saralla. Vaikka eri ojasyvyyksien 100 m:n sarat eivät poikkea toisistaan merkitsevästi, on syvimmän ojan 60 m:n saran valunta jo suurempi kuin 100 m:n valunta pienemmällä ojasyvyydellä. 77 cm:ä syvillä ojilla on valunnan suureneminen sarkaleveyden pienetessä paljon jyrkempää kuin muilla. Sarkaleveyksillä 30—50 m on kokonaisvalunta kaksi kertaa suurempi kuin 100 m:n saralla ja sarkaleveyksien 5—20 m kokonaisvalunta on lähes kolminkertainen 100 m:n saran kokonaisvaluntaan verrattuna. Mikäli pidetään 30 cm:n ojan 100 m:n sarkaa luonnontilaisena suona, voidaan tutkimusta vastaaviin oloihin sovellettaessa todeta, että ojasyvyyden ollessa 30 cm on sarkaleveyden oltava 20 m tai sitä kapeampi, mikäli halutaan ojituksella saada aikaan valunnan merkitsevä lisääntyminen. 46 cm:n ojalla on vastaava minimisarkaleveys 30 m, mutta 77 cm:n ojalla jo sarkaleveys 50—60 m

riittää lisäämään valunnan lähes kaksinkertaiseksi 100 m:n sarkaan verrattuna. Sarkaleveys 30 m antaa 77 cm:n ojasyvyydellä jo suuremman valunnan kuin esim. 5 m:n sarka ojasyvyydellä 46 cm. Vrt. kuvat 3, 4 ja 5.



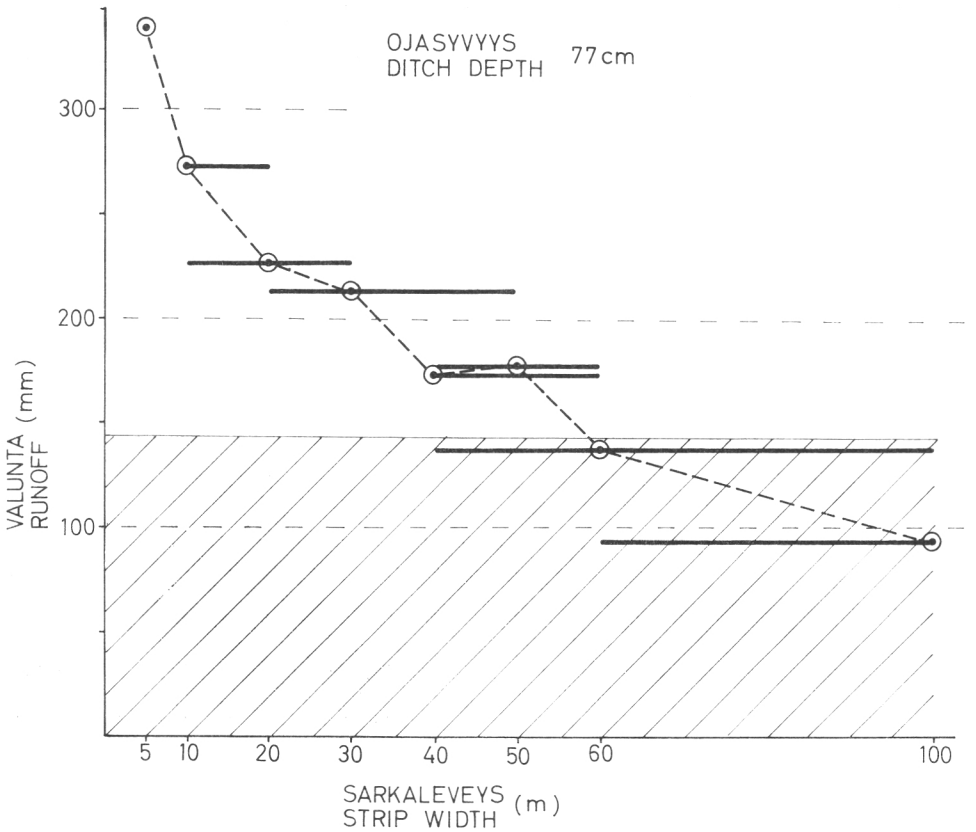
Kuva 3. Touko- lokakuun kokonaisvalunta eri levyisiltä saroilta 30 cm:n ojasyvyydellä sekä valunta-arvojen ei merkitsevien erojen ulottuvuus (———).

Figure 3. Total runoff during May—October on different strip-widths on a ditch-depth of 30 cm and extent of nonsignificant differences in runoff values (———).



Kuva 4. Touko—lokakuun kokonaisvalunta eri levyisiltä saroilta 46 cm:n ojasyvyydellä sekä valunta- arvojen ei merkitsevien erojen ulottuvuus (———).

Figure 4. Total runoff during May—October on different stripiwidths on a ditch-depth of 46 cm and extent of nonsignificant differences in runoff values (— — —).



Kuva 5. Touko—lokakuun kokonaisvalunta eri levyisiltä saroilta 77 cm:n ojasyvyydellä sekä valunta-arvojen ei merkitsevien erojen ulottuvuus (———).

Figure 5. Total runoff during May—October on different strip-widths on a ditch-depth of 77 cm and extent of nonsignificant differences in runoff values (———).

44. Ylivirtaama

Kuukausiylivirtaamat saatiin päivittäisistä ylivirtaamahavainnoista, jotka tehtiin indikaattoripaperin avulla sekä padoilla 9, 29 ja 49 myös itsepiirtävien vedenkorkeusmittarien avulla. Tulokset on esitetty taulukoissa 5a, 5b ja 5c. Suurimmat ylivirtaamat mitattiin 30 cm:n ojasyvyyskentällä elokuussa, 46 cm:n kentällä toukokuussa ja 77 cm:n kentällä myös toukokuussa. Matalat ojat lienevät siis herkempiä sateen aiheuttamalle ylivalumalle kuin lumensulamisylivalumalle, kun taas syvissä ojissa asia on päinvastoin. Yleisesti ottaen on kuitenkin elokuu ollut huomattavin ylivalumakuukausi suuresta sademäärästä johtuen. Heinäkuussa ovat ylivirtaamat vastaavasti olleet pienimmät. Varianssianalyysilla selvitettiin, mitkä tekijät

nyt havaituista vaikuttavat ylivirtaaman suuruuteen. Tällöin saatiin merkitsevät erot eri kuukausien, eri ojasyvyyksien ja eri sarkaleveyksien välille. Alla olevassa asetelmassa on esitetty niiden tekijöiden vaikutus ylivirtaaman suuruuteen.

	Selitysvoimakkuus %	
Kuukauden sademäärä	23	F = 31.28***
Ojasyvyys	12	F = 23.21***
Sarkaleveys	11	F = 7.50***
Hajonta	54	

Luvuista huomataan, että vaikka kaikilla mainituilla tekijöillä on erittäin merkitsevä vaikutus ylivirtaaman suuruuteen, niiden selitysvoima on silti suhteellisen heikko.

Suuresta virhevarianssista johtuen ei merkitseviä eroja eri kuukausien, ojasyvyyksien ja sarkaleveyksien välille tullut kovin runsaasti. Eri kuukausista ainoastaan heinäkuun ja elokuun ylivirtaamat erosivat toisistaan ratkaisevasti, muut olivat keskenään samanarvoisia. Ojasyvyyksistä olivat 30 cm:n ja 46 cm:n ylivirtaamat yhtäsuuria, mutta molemmat olivat merkitsevästi pienempiä kuin suurimman ojasyvyyden ylivirtaamat. Sarkaleveyksistä ainoastaan 5 m:n ja 40 m:n sarkojen ylivirtaamat erosivat toisistaan, muut olivat keskenään yhtäsuuria. Suuntana näyttää kuitenkin olevan, että sarkaleveyden kasvaessa myös ylivirtaama suurenee.

Ylivirtaamat ovat yleensä sattuneet eri padoilla samoina päivinä. Yleisimmät ylivirtaamien sattumispäivät ovat kuukausittain lueteltuina seuraavat:

	Pvm.	Sademäärä, mm	
toukokuu	13.	5.5	
kesäkuu	13.	0.1	(16.8)
heinäkuu	10.	2.8	(8.0)
elokuu	31.	37.6	(kahden vuorokauden sadanta)
syyskuu	30.	11.9	
lokakuu	15.	15.3	

Kaikkina muina kuukausina paitsi kesä—heinäkuussa on ylivirtaama sattunut yhteen maksimisadannan kanssa. Kesä- ja heinäkuussa on ylivirtaama sattunut vuorokauden maksimisadannan jälkeen. Maksimisadanta on merkitty asetelmaan suluissa.

Taulukko 5 a. Kuukausiylivirtaamat (l/s) mittapadoilla 1—17 (ojasyvyys 30 cm).

Table 5 a. Monthly maximum runoff (l/sec) at measuring weirs 1—17 (ditch depth, 30 cm).

Mittapato *Measuring weir*	Toukokuu *May*		Kesäkuu *June*		Heinäkuu *July*		Elokuu *August*		Syyskuu *September*		Lokakuu *October*		Sarkaleveys *Strip width*
	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	m *m*
1	0.228	13.	—		—		0.083	31.	0.213	18.	0.083	15.	5
2	.045	11., 13.	—		—		.075	31.	.053	18., 30.	.053	15.	5
3	.097	12.	—		—		.097	31.	.213	30.	.213	15.	10
4	.083	11.	—		—		.197	31.	.167	18.	.182	15.	10
5	.297	13.	0.167	12.	—		.213	31.	.182	1.	.167	15.	20
6	.111	7.	.033	13.	—		.197	31.	.152	18.	.182	15.	20
7	.024	13.	.045	13.	—		.167	31.	.167	18.	.197	15.	30
8	.138	11.	.060	13.	—		.228	31.	.213	1.	.167	15.	30
9	.228	9.	.083	12.	—		.745	30.	.467	18.	.673	15., 24.	2×40
10	.138	7.	—	12.	—		.138	31.	.124	18.	.213	15.	60
11	.111	13.	.039		—		.152	31.	.083	18.	.197	15.	50
12	..		..		—		.297	31.	.228	1.	.274	15.	40
13	..		..		—		.368	31.	.251	1., 18.	.213	12.	10
14	..		..		—		.442	31.	.343	30.	.251	1.	20
15	..		..		—		.124	31.	.075	30.	.213	12.	5
16	.297	13.	.167	13.	—		.274	31.	.274	30.	.320	15.	100
17	.068	6., 13.	—		—		.228	31.	.124	1.	.075	12.	60

Taulukko 5 b. Kuukausiylivirtaamat (l/s) mittauspadoilla 21—37 (ojasyvyys 46 cm).

Table 5 b. Monthly maximum runoff (l/sec) at measuring weirs 21—37 (ditch depth, 46 cm).

Mittapato *Measuring weir*	Toukokuu *May*		Kesäkuu *June*		Heinäkuu *July*		Elokuu *August*		Syyskuu *September*		Lokakuu *October*		Sarkaleveys *Strip width*
	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	m *m*
21	.		.		.		.		.		.		5
22	.		.		.		.		.		.		5
23	0.138	15.	—		—		0.006	31.	0.097	30.	0.124	15.	10
24	.097	15.	0.167	13.	—		.167	31.	.152	1., 30.	.124	15.	10
25	.167	11.	.167	13.	—		.152	31.	.124	1.	.111	1.	20
26	.182	13.	.274	13.	0.167	10.	.228	7.	.228	30.	.197	1.	20
27	.167	8.	.167	13.	.060	10., 11.	.152	3., 4., 11.	.167	30.	.152	15.	30
28	.274	11.	.138	13.	—		.152	31.	.197	30.	.152	15.	30
29	.197	15.	.197	12.	.060	9.	.251	31.	.343	30.	.368	25.	2×40
30	.297	14.	.368	12.	—		.393	31.	.320	18.	.393	15.	60
31	.124	13., 15.	.083	15.	—		.274	31.	.213	18.	.274	15.	50
32	.274	14.	.152	12.	—		.182	7.,31.	.213	28.	.184	15., 17.	40
33	.320	13.	.053	12., 13.	—		.097	31.	.111	18.	.111	16.	10
34	..		.251	6.	.011	10., 11.	.053	31.	.075	30.	.083	2.	20
35	..		.068	6.	—		.068	31.	.075	1.	.097	15.	5
36	.138	11.	.083	8.	.027	9.,10.	.083	3.	—		.045	15.	100
37	.152	15., 16.	.182	8.	—		.213	31.	.184	1.	.182	15.	60

Taulukko 5. c. Kuukausiylivirtaamat mittauspadoilla 41—57 (ojasyvyys 77 cm).

Table 5 c. Monthly maximum runoff (1/sec) at measuring weirs 41—57 (ditch depth, 77 cm).

Mittapato *Measuring weir*	Toukokuu *May*		Kesäkuu *June*		Heinäkuu *July*		Elokuu *August*		Syyskuu *September*		Lokakuu *October*		Sarkaleveys *Strip width*
	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	l/s *l/sec*	pvm. *date*	m *m*
41	·		·		·		·		·		·		5
42	0.097	15.	0.075	12., 13.	—		0.124	31.	0.182	30.	0.182	15.	5
43	.167	15.	.152	12.	—		.501	31.	.228	1., 30.	.228	1.	10
44	.083	8.	.075	12.	—		.111	31.	.124	30.	.228	15.	10
45	.320	11.	.251	13.	0.039	10.	.083	31.	.138	30.	.111	1.	20
46	.297	11.	.501	15.	.075	10.	.124	31.	.138	30.	.152	24.	20
47	.182	15.	.411	1.	.083	6., 10. 11., 12.	.343	3.	.297	30.	.228	1.	30
48	.343	8.	.197	4.	.053	1.	.228	1.	.167	1.	.124	1.	30
49	.673	4.	.535	12.	.274	4.	.862	1.	.780	30.	.637	15., 24.	2×40
50	.343	7.	.251	6.	.297	20.	.393	3., 7.	.228	30.	.197	15.	60
51	.343	7.	.228	13., 18., 19.	.251	3.	.411	3.	.228	30.	.213	1.	50
52	.251	16., 28.	.297	21.	.393	20.	.297	3.	.297	18.	.197	1.	40
53	.274	21.	.197	5.	.060	17.	.138	10.	.097	30.	.083	16.	10
54	.368	13.	.393	4.	.083	16., 23.	.182	31.	.197	30.	.152	15.	20
55	·		·		·		·		·		·		5
56	.343	15.	.213	8.	.039	11.	.297	31.	.320	30.	.320	15.	100
57	.274	11.	.411	17.	.251	3.	.213	24.	.167	1., 30.	.167	26.	60

Taulukko 6. Mitattu sadanta ja valunta sekä näiden erotus Alkkiannevalla touko—lokakuussa 1964 ojasyvyyksittäin.

Table 6. Precipitation and runoff as measured at Alkkianneva from May through October, 1964 and their difference by ditch depths.

Ojasyvyys *Ditch depth*	Kuukausi — *Month*						Yht. *Total*
	Toukokuu *May*	Kesäkuu *June*	Heinäkuu *July*	Elokuu *August*	Syyskuu *September*	Lokakuu *October*	
30 cm							
Sadanta — *Precipitation*	25.0	42.1	32.7	123.5	60.5	57.8	341.6
Valunta — *Runoff*	10.4	0.6	—	6.5	18.2	23.2	58.9
Sadanta-valunta — *Precipitation-runoff*	14.6	41.5	32.7	117.0	42.3	34.6	282.7
46 cm							
Sadanta — *Precipitation*	25.0	42.1	32.7	123.5	60.5	57.8	341.6
Valunta — *Runoff*	17.9	7.1	0.6	8.5	20.9	24.4	79.4
Sadanta-valunta *Precipitation-Runoff*	7.1	35.0	32.1	115.0	39.6	33.4	262.2
77 cm							
Sadanta — *Precipitation*	25.0	42.1	32.7	123.5	60.5	57.8	341.6
Valunta — *Runoff*	43.9	28.9	11.9	28.8	38.0	40.1	191.6
Sadanta-valunta — *Precipitation-Runoff*	—	13.2	20.8	94.7	22.5	17.7	150.0

45. Suon vesitalous kesän havaintojen valossa

Jokaiselle ojasyvyyskentälle laskettiin mittaustuloksista sarkaleveyksien mukaisilla valuma-alueitten pinta-aloilla painotetut valuntakeskiarvot kuukausittain. Taulukossa 6 on esitetty valuntakeskiarvot kuukauden sadantahavaintojen kanssa sekä myös sadannan ja valunnan erotus, mikä edustaa haihduntaa jos maan vesipitoisuudessa ei ole tapahtunut muutoksia.

Valunta on selvästi suurentunut ojasyvyyden kasvaessa. 30 cm:n ja 46 cm:n syvyisten ojien välillä ei kuitenkaan ole yhtä suurta eroa kuin 46 cm:n ja 77 cm:n ojien välillä. Eri kuukausien valunnat ovat samassa suhteessa toisiinsa kaikilla ojasyvyyskentillä paitsi 77 cm:n kentällä, jossa toukokuun valunta on suurempi kuin lokakuun. Toukokuun valunta on myös huomattavasti suurempi kuin kuukauden sademäärä. Tämä johtuu lumen sulamisesta, joka 77 cm:n ojilla aiheuttaa suuremman tulvan kuin muilla. Myös 46 cm:n ja 30 cm:n ojilla on havaittavissa valunnan suurentuminen lumen sulamisvaiheessa, mutta ainoastaan kapeilla saroilla.

Taulukko 7 a. Pohjaveden kestävyys 30 cm:n ojasyvyydellä kesä—elokuussa sekä kestävyyshavaintojen mediaanit.

Table 7 a. Duration of the ground water and the medians of the duration observations from June through August when a ditch depth of 30 cm is employed.

	Syvyyskerros *Depth layer*	Sarkaleveys, m — *Strip width, m*						
		5	10	20	30	40	60	100
Kesäkuu — *June*	0—10							2
	11—20	2	3	3	2	4	4	19
	21—30	13	22	22	18	27	22	38
	31—40	57	40	42	50	41	39	36
	41—50	27	25	17	18	22	25	5
	51—60	1	10	14	8	5	9	
	61—70			2	4	1	1	
	71—80						—	
	81—90							
	91—100							
	Md	37.1 cm	37.3 cm	36.9 cm	35.0 cm	35.6 cm	37.2 cm	28.6 cm
Heinäkuu — *July*	0—10							
	11—20							4
	21—30	2	2	3	2	4	1	25
	31—40	24	23	21	22	31	18	43
	41—50	62	47	46	59	37	41	26
	51—60	12	20	15	8	21	28	2
	61—70		8	15	9	6	11	
	71—80					1	1	
	81—90							
	91—100							
	Md	44.0 cm	46.3 cm	46.6 cm	45.4 cm	45.0 cm	48.6 cm	35.9 cm
Elokuu — *August*	0—10			2	1	1	2	12
	11—20	6	6	10	6	12	10	36
	21—30	37	36	42	44	39	55	44
	31—40	50	38	22	33	35	19	8
	41—50	7	11	10	7	10	11	
	51—60		7	14	2	3	3	
	61—70		2		7			
	71—80							
	Md	32.4 cm	33.1 cm	30.0 cm	31.0 cm	30.5 cm	27.9 cm	21.5 cm

5. POHJAVESI

51. Pohjaveden kestävyys

Pohjaveden kestävyys laskettiin kaikilta saroilta kesä—elokuussa 10 cm:n syvyysluokitusta käyttäen. Tulokset on esitetty taulukoissa 7a, 7b ja 7c.

Taulukon luvuista nähdään, että pohjavesi on ollut sitä syvemmällä, mitä kapeammasta sarasta on ollut kysymys. Samoin pohjavesipinnan vaihtelut ovat tapahtuneet sitä suppeammissa rajoissa mitä kapeampi sarka on ollut. Suurimmat vaihtelut ovat tapahtuneet 40, 60 ja 100 metrin saroilla, joilla suurimman ja pienimmän pohjavesihavainnon erotus on saattanut olla 80—90 cm saman kuukauden aikana.

Toinen mielenkiintoinen seikka on se, että pohjavesi on kesäkuukausina

Taulukko 7 b. Pohjaveden kestävyys 46 cm:n ojasyvyydellä kesä—elokuussa sekä kestävyyshavaintojen mediaanit.

Table 7 b. Duration of the groud water and the medians of the duration observations from June through August when a ditch depth of 46 cm is employed.

	Syvyyskerros *Depth layer*	Sarkaleveys, m — *Strip width*						
		5	10	20	30	40	60	100
Kesäkuu — *June*	0—10				—	—	—	9
	11—20			—	4	3	4	19
	21—30		—	1	20	12	20	23
	31—40		1	9	27	36	42	23
	41—50	5	9	24	25	34	22	19
	51—60	31	12	42	12	11	8	4
	61—70	35	39	16	9	4	3	3
	71—80	3	23	8	3	—	1	—
	81—90	20	16	—				
	91—100	6	—					
	Md	65.0 cm	68.2 cm	54.8 cm	40.9 cm	40.9 cm	37.2 cm	30.0 cm
Heinäkuu — *July*	0—10							2
	11—20					—	—	8
	21—30				2	3	5	18
	31—40			2	20	16	32	29
	41—50	11	1	9	27	38	36	25
	51—60	35	9	36	27	36	16	12
	61—70	29	22	36	12	5	8	6
	71—80	12	45	13	11	2	3	—
	81—90	12	21	4	1		—	
	91—100	1	2					
	Md	72.4 cm	75.0 cm	61.8 cm	51.4 cm	49.2 cm	44.6 cm	38.9 cm
Elokuu — *August*	0—10				1	1	2	12
	11—20			—	7	5	9	9
	21—30		—	4	22	16	37	27
	31—40	1	1	10	25	32	31	22
	41—50	—	5	21	25	36	12	13
	51—60	37	17	40	6	7	7	5
	61—70	23	34	14	9	3	2	—
	71—80	13	34	9	5	—	—	2
	81—90	19	5	2	—			
	91—100	7	4					
	101—110							
	Md	66.2 cm	68.9 cm	54.8 cm	39.0 cm	39.8 cm	31.6 cm	28.1 cm

ollut alempana kuin ojasyvyys oikeastaan edellyttäisi. 30 cm:n kentällä on pohjavesi ollut lähes puolet ajasta yli 30 cm:n syvyydellä ja 46 cm:n kentällä kolmanneksen ajasta yli 60 cm:n syvyydellä. Sensijaan 77 cm:n ojasyvyyskentällä ei pohjavesi yleensä ole mennyt ojasyvyyttä alemmaksi.

52. Pohjavesihavaintojen kuukausimediaanit

Pohjaveden kestävyyshavainnoista laskettiin myös mediaanit kesä—elokuulta. Mediaani osoittaa tällöin sen syvyyden, jonka yläpuolella pohjavesi on ollut 50 % ajasta.

Taulukko 7 c. Pohjaveden kestävyys 77 cm:n ojasyvyydellä kesä—elokuussa sekä kestävyyshavaintojen mediaanit.

Table 7 c. Duration of the ground water and the medians of the duration observations from June through August when a ditch depth of 77 cm is employed.

	Syvyyskerros *Depth layer*	Sarkaleveys, m — *Strip width*						
		5	10	20	30	40	60	100
Kesäkuu — *June*	0—10					—	2	2
	11—20			3	2	4	11	15
	21—30		2	13	11	12	27	28
	31—40	10	10	26	29	20	32	39
	41—50	10	28	36	30	42	16	9
	51—60	3	34	10	12	16	12	3
	61—70	18	17	7	3	4	—	2
	71—80	40	9	2	4	2	—	2
	81—90	14	—	3	6			
	91—100	5			3			
	Md	72.5 cm	53.9 cm	43.2 cm	43.7 cm	44.3 cm	34.1 cm	32.3 cm
Heinäkuu — *July*	0—10							
	11—20			1		—	1	3
	21—30			7	1	4	12	17
	31—40		2	15	14	11	33	43
	41—50	19	23	37	37	37	29	27
	51—60	1	32	23	24	37	19	3
	61—70	19	32	10	9	7	5	4
	71—80	47	10	4	5	4	3	3
	81—90	10	1	3	6			
	91—100	4			4			
	Md	73.3 cm	58.8 cm	48.3 cm	50.5 cm	50.5 cm	42.4 cm	37.9 cm
Elokuu — *August*	0—10			1	—	1	3	5
	11—20		—	7	4	6	15	24
	21—30	1	4	14	14	13	29	30
	31—40	6	16	26	31	25	29	30
	41—50	19	25	32	23	36	12	5
	51—60	10	34	7	12	14	10	3
	61—70	19	19	7	3	5	1	3
	71—80	28	2	6	3	—	1	
	81—90	15		—	7	—		
	91—100	1			3			
	101—110	1						
	Md	68.4 cm	52.5 cm	41.6 cm	41.5 cm	42.4 cm	32.0 cm	28.4 cm

Mediaanihavainnot osoittavat selvästi saman seikan kuin kestävyyshavainnotkin. Mitä kapeampi sarka sen syvemmällä on pohjavesi. Lisäksi 77 cm:n ojasyvyydellä on pohjavesi kauttaaltaan ollut huomattavasti alempana kuin muilla ojasyvyyksillä. Niiden seikkojen selvittämiseksi, jotka vaikuttavat pohjavesipinnan syvyyteen käytettiin varianssianalyysia. Tällöin meneteltiin niin, että tutkittiin ensiksi ojasyvyyden vaikutusta yhdistämällä kaikkien ojasyvyyskenttien samanlevyisten sarkojen tulokset ja käsittelemällä kukin sarkaleveys omana kokonaisuutenaan. Tulokset ovat alla olevassa asetelmassa:

Sarkaleveys	Kesäkuu F	Heinäkuu F	Elokuu F
5	13.01**	14.24**	20.87***
10	36.65***	36.00***	57.01***
20	9.27**	4.95*	12.27***
30	< 1.00	1.00	4.26
40	3.07	1.66	5.68*
60	< 0.50	< 1.00	< 0.3
100	< 1.00	< 0.50	< 1.0

Luvuista nähdään, että ojasyvyys vaikuttaa pohjavesipinnan korkeuteen ainoastaan kapeilla saroilla. Kun sarkaleveys nousee yli 30 m:n, ei ojan syventäminen tai madaltaminen enää vaikuta pohjaveden korkeuteen. Ojasysyys selitti 5—20 m:n saroilla 45—81 % pohjavesihavaintojen mediaanien vaihtelusta. Alla olevassa asetelmassa on esitetty ojasyvyyden selitysvoima eri saroilla kesä—elokuussa:

Sarkaleveys	Kesäkuu %	Heinäkuu %	Elokuu %
5	65	68	74
10	81	81	87
20	64	45	66

Havaitaan, että 10 m:n saralla on ojasyvyys osoittautunut parhaiten selittäväksi tekijäksi. Elokuussa on ojasyvyys kaikilla mainituilla saroilla vaikuttanut pohjaveden syvyyteen voimakkaammin kuin muina kuukausina. Tämä johtuu todennäköisesti elokuun korkeasta sademäärästä.

Sarkaleveyden vaikutusta ei voitu tutkia samalla tavalla, koska toistojen määrä vaihteli sarjoittain. Tällöin meneteltiin niin, että asetettiin toistojen perusteella kullekin sarkaleveydelle yksi mediaani jota käytettiin varianssianalyysissa. Tulokseksi tuli, että sekä sarkaleveys että ojasyvyys vaikuttavat pohjavesipinnan korkeuteen. Tulokset ovat alla olevassa asetelmassa:

	Selitysvoimakkuus Osuus tulosten kokonaisvaihtelusta (%)		
	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu
Sarkaleveys ..	54	55	51
Ojasyvyys	21	19	30
Hajonta [1])	25	26	19

[1]) Hajonnassa on mukana sään aiheuttamat vaihtelut.

Sarkaleveydellä näyttää siis olevan huomattavasti voimakkaampi vaikutus kuin ojasyvyydellä pohjavesipinnan korkeuteen. Ojasyvyyden heikko vaikutus selittyy sillä, että sen vaikutus tuntuu vain kapeilla saroilla, kuten edellä on todettu. Sarkaleveyden vaikutus on lähes kaksi kertaa voimakkaampi. Sen suhteen on kuitenkin todettava samaa kuin ojasyvyydenkin eli, että sarkaleveyden pohjavedenpintaa alentava vaikutus on huomattavin kapeilla saroilla.

53. Sääolojen vaikutus pohjavesipinnan korkeuteen

Sään vaikutusta tutkittiin laskemalla kullekin saralle päivittäisistä havainnoista keskimääräinen pohjavesipinnan syvyys. Tekijöitä, jotka vaikuttavat pohjavesipinnan päivittäisiin vaihteluihin tutkittiin varianssianalyysilla.

Aluksi tutkittiin kullakin ojasyvyyskentällä sarkaleveyden ja päivittäisten pohjavesipinnan vaihteluitten osuutta tulosten kokonaisvaihtelusta kesä—elokuun aikana. Tulokset asetelmassa:

	Ojasyvyys		
Kesäkuu	30 cm	46 cm	77 cm
Sarkaleveys + ojasyvyys	32	90	92
Päivittäiset vaihtelut	64	8	6
Hajonta	4	2	2
Heinäkuu			
Sarkaleveys + ojasyvyys	49	93	96
Päivittäiset vaihtelut	47	6	3
Hajonta	4	1	1
Elokuu			
Sarkaleveys + ojasyvyys	51	91	91
Päivittäiset vaihtelut	45	8	7
Hajonta	4	1	2

Koska tulokset on laskettu sarkojen päivittäisistä keskikeskiarvoluvuista, ei sarkojen sisäinen vaihtelu pääse vaikuttamaan tulokseen. Asetelmasta havaitaan, että matalin ojasyvyys vaikuttaa pohjavesipinnan korkeuteen muista poikkeavalla tavalla. Päivittäisten sään vaihteluitten osuus on yhtä huomattava kuin sarkaleveyden ja ojasyvyyden yhteisvaikutuksen. Sensijaan suuremmilla ojasyvyyksillä ei sää pääse vaikuttamaan pohjavesipintoihin läheskään yhtä voimakkaasti. Heikoin vaikutus on luonnollisesti 77 cm:n ojasyvyydellä, mutta sen ja 46 cm:n ojien välinen ero on lähes merkityksetön.

Tarkasteltaessa eri kuukausien välisiä eroja samalla ojasyvyydellä, voidaan havaita, että heinäkuussa, joka oli kuiva kuukausi, näyttää sään vaikutus pohjavesipintojen syvyyteen olleen kaikkein vähäisin.

Ojasyvyyden, sarkaleveyden ja sään avulla voidaan pohjavesipintojen päivittäisistä vaihteluista selittää 96—99 %. Selittämättä jäävän hajonnan osuus on siis varsin pieni. Se on suurimmillaan 30 cm:n ojasyvyydellä. Mielenkiintoista on myös tarkastella pienimmän tilastollisesti merkitsevän eron vaihteluita kuukausittain ja ojasyvyyksittäin. Tällöin pienimmällä merkitsevällä erolla tarkoitetaan sitä vähimmäismäärää, jonka verran kahtena päivänä laskettujen pohjavesihavaintojen keskiarvojen on tietyllä saralla erottava toisistaan, jotta ero olisi tilastollisesti merkitsevä. Tulokset asetelmassa:

Ojasyvyys	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu
30 cm	5.0 cm	4.9 cm	6.1 cm
46 cm	7.4 cm	6.9 cm	7.4 cm
77 cm	10.2 cm	5.5 cm	9.2 cm

Pohjavesipintojen syvyyksien keskiarvojen vaihteluvälit eri kuukausina olivat seuraavat:

Ojasyvyys	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu
30 cm	17—25 cm	10—17 cm	15—29 cm
46 cm	10—26 cm	4—16 cm	7—26 cm
77 cm	5—23 cm	3—13 cm	18—25 cm

Voimakkainta on vaihtelu ollut 30 cm:n kentillä, kuten aikaisemmin on jo todettu. Sensijaan huomiota kiinnittää seikka, että 77 cm:n kentällä on kesä—heinäkuussa ja 46 cm:n kentällä heinä—elokuussa ollut sarkoja, joiden vaihteluväli on pienempi kuin pienin merkitsevä ero. Näillä saroilla on siis pohjavesipintojen keskiarvo pysynyt käytännöllisesti katsoen samana mainittuna ajanjaksona. 77 cm:n kentällä oli kolme tällaista sarkaa, kaikki 5 m:n levyisiä, ja 46 cm:n kentällä kaksi, toinen 5 m:n levyinen ja toinen 10 m:n levyinen. Yleensä kapeitten sarkojen vaihteluväli on pienin.

Päivittäisistä havainnoista laskettiin myös erikseen sarkaleveyden ja ojasyvyyden vaikutus pohjaveteen, kuten tehtiin mediaanihavainnoillekin. Nämä kaksi tarkastelutapaa eroavat toisistaan siinä, että mediaanihavainnoista lasketussa varianssianalyysissa on sarkojen sisäinen vaihtelu mukana, mutta päivittäisiin keskiarvoihin perustuva varianssianalyysi ei ota sarkojen sisäistä vaihtelua samalla tavoin huomioon. Tulokset alla olevassa asetelmassa:

	Kesäkuu %	Heinäkuu %	Elokuu %
Sarkaleveys ..	48	46	42
Ojasyvyys	23	23	28
Hajonta	29	31	30

Jos verrataan asetelman lukuja vastaaviin sivulla 16, havaitaan tuloksissa suuri yhdenmukaisuus laskentatavan erilaisuus huomioonottaen. Tässäkin tapauksessa sisältyy hajontaan sään aiheuttamat vaihtelut. Koska ne nyt tunnetaan, voidaan varianssianalyysiin ottaa neljänneksi tekijäksi sää, jolloin tulos muodostuu seuraavaksi:

	Kesäkuu %	Heinäkuu %	Elokuu %
Sarkaleveys ..	48	46	42
Ojasyvyys	23	23	28
Sää	11	6	9
Hajonta	18	25	21

Yhteenvetona voidaan todeta, että päivittäisten säävaihteluiden vaikutus pohjaveden korkeuden vaihteluihin on melko pieni ja sitä pienempi, mitä syvemmästä ojasta ja kapeammasta sarasta on kysymys.

6. VALUNNAN RIIPPUVUUS ERI TEKIJÖISTÄ

61. Sarkaleveys ja ojasyvyys

Sarkaleveyden ja ojasyvyyden vaikutusta koko kesän valuntaan tarkasteltiin lopuksi regressioanalyysia hyväksikäyttäen. Valunnan riippuvuussuhdetta on kummassakin tapauksessa käsitelty suoraviivaisena.

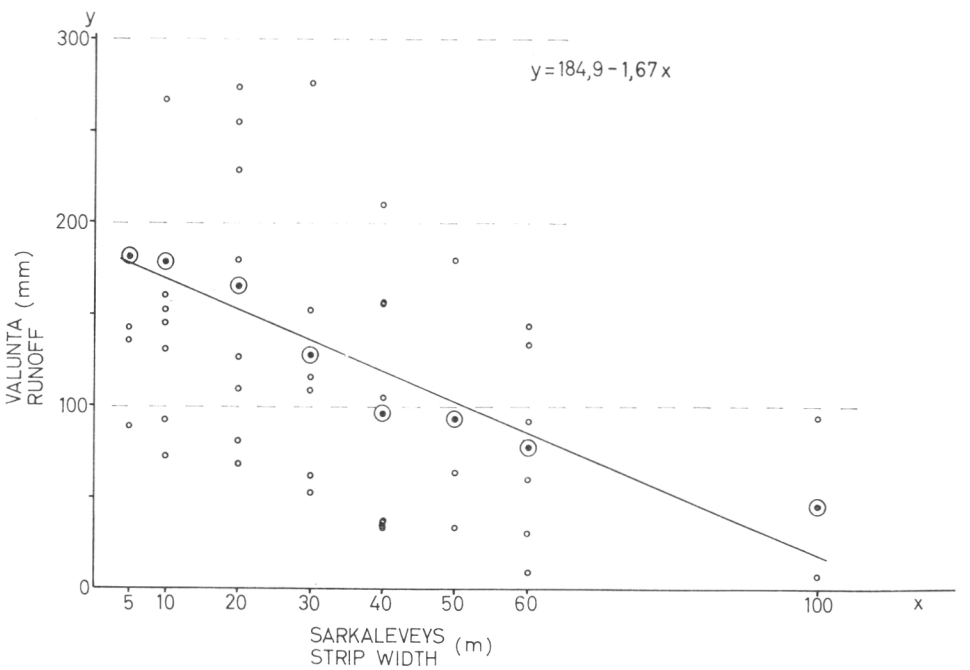
Valunnan ja sarkaleveyden välille saatiin seuraava yhtälö:

(1) $Y = 184.9 - 1.67\,X$

Y = touko—lokakuun valunta v. 1964, mm

X = sarkaleveys, m

Yhtälö (1) selitti kuitenkin valunnan vaihteluista ainoastaan 20 % (kuva 6).



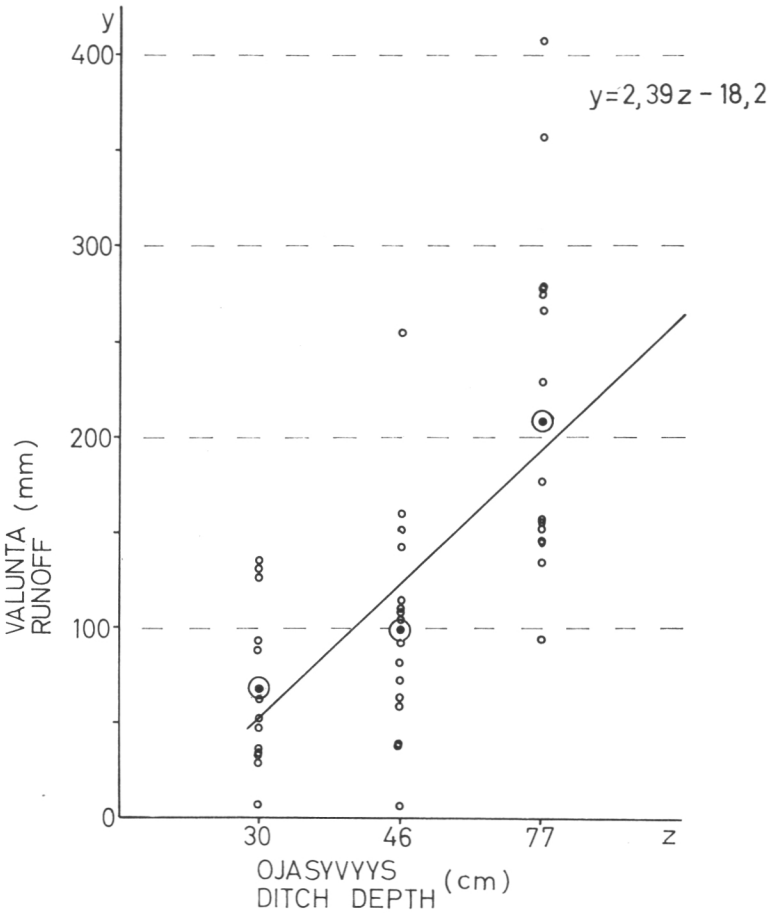
Kuva 6. Valunnan riippuvuus sarkaleveydestä.
Figure 6. Dependence of runoff upon strip-width.

Koko kesän valunnan ja ojasyvyyden välistä riippuvuutta kuvaa yhtälö:

(2) $Y = 2.39\,Z - 18.2$

Y = touko—lokakuun valunta v. 1964, mm

Z = ojasyvyys, cm



Kuva 7. Valunnan riippuvuus ojasyvyydestä.
Figure 7. Dependence of runoff upon ditch-depth.

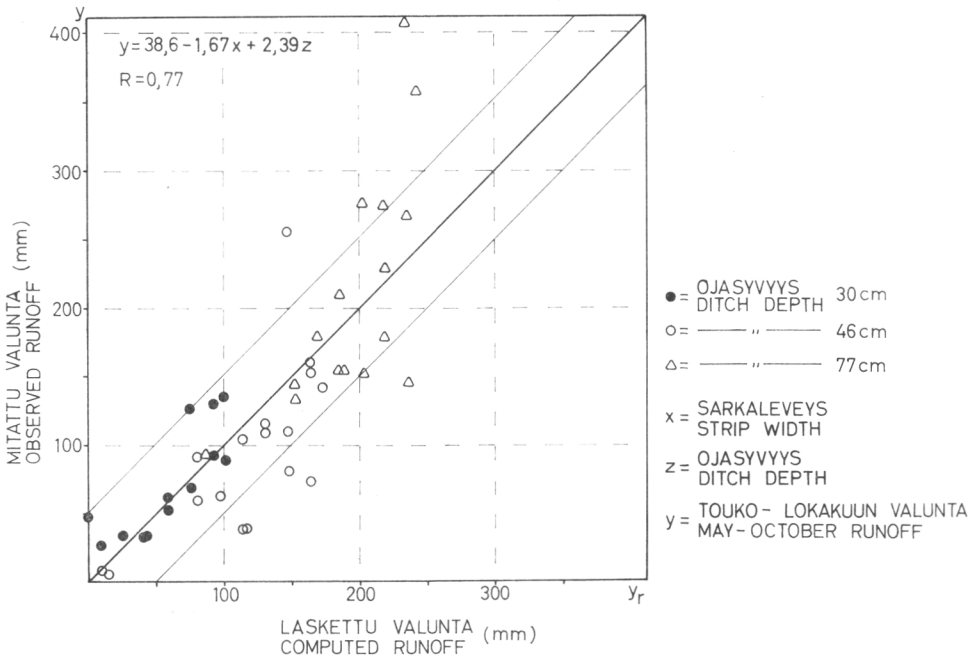
Yhtälö (2) selitti valunnan vaihteluista 40 % (kuva 7).

Yhdistettäessä molemmat yhtälöt, saadaan ojasyvyyden ja sarkaleveyden yhteisvaikutus:

(3) $Y = 38.6 - 1.67\ X + 2.39\ Z$

Yhtälö (3) selitti valunnan vaihteluista 60 %. Selittämättä jäävän hajonnan osuus on siis melko suuri. Siihen sisältyvät sään aiheuttamat vaihtelut ja kuten kappaleessa 42 on todettu, sadannan vaikutus ei ole samanlainen kaikilla ojasyvyyksillä ja sarkaleveyksillä. Regressioyhtälöt selittävät ainoastaan kokonaisvalunnan vaihtelut, jakoa pintavesivaluntaan ja pohjavesivaluntaan ei tässä tarkastelussa suoritettu.

Kuva 8 esittää yhtälön (3) mukaan laskettujen arvojen ja todellisten havaintojen välisen vuorosuhteen.



Kuva 8. Laskettujen valunta-arvojen ja todellisten havaintojen välinen vuorosuhde.
Figure 8. The relation between computed runoff values and observed runoff values.

62. Pohjaveden korkeus

Valunta yritettiin selittää myös pohjaveden korkeuden avulla. Tulokset on esitetty taulukossa 8. Luvut on saatu siten, että päivittäiset valuntahavainnot on ryhmitelty samanaikaisesti havaittujen pohjaveden korkeuksien mukaan sarkaleveyksittäin ja pohjavesisyvyyksittäin. Pohjaveden syvyyshavainnoissa on tyydytty 10 cm luokitukseen, mikä havaintojen hajonnan huomioonottaen tuntuu sopivalta (vrt. ss. 19—20). Koska valuntahavainnot eivät missään pohjaveden syvyysluokassa jakaantuneet läheskään normaalisti, katsottiin paremmaksi käyttää keskiarvon sijasta mediaania. Luvut ovat siis niiden valuntahavaintojen mediaaneja, jotka on tehty pohjaveden ollessa ao. syvyydellä.

Taulukosta nähdään, että valuntaa ei voida selittää pelkästään pohjaveden avulla. Pohjaveden ollessa samalla syvyydellä tulee valunta sitä pienemmäksi, mitä leveämpään sarkaan ja matalampaan ojaan siirrytään.

Taulukko 8. Valunta (mm/vrk) pohjaveden ollessa eri syvyyksillä.
Table 8. Runoff (mm/day) for different depths of the ground water table.

Ojasyvyys 30 cm
Ditch depth, 30 cm

Pohjaveden syvyys *Depth of ground water table*	Sarkaleveys, m — *Strip width*							
	5	10	20	30	40	50	60	100
0—10	—	—	—	—	—	1.34	1.25	0.60
11—20	1.30	10.64	1.22	1.22	1.01	0.42	0.35	0.24
21—30	.00	0.65	0.31	0.22	0.10	.00	.00	.00
31—40	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
41—50	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00

Ojasyvyys 46 cm
Ditch depth, 46 cm

Pohjaveden syvyys *Depth of ground water table*	Sarkaleveys, m — *Strip width*							
	5	10	20	30	40	50	60	100
11—20	—	—	—	2.48	0.87	—	2.51	0.32
21—30	—	—	2.48	1.22	0.16	1.20	0.75	0.03
31—40	—	—	0.57	0.70	.00	.00	.00	.00
41—50	2.92	2.43	.00	.00	.00	.00	.00	—
51—60	4.86	.00	0.11	.00	.00	.00	—	—
61—70	.00	.00	.00	.00	—	—	—	—
71—80	.00	.00	—	—	—	—	—	—

Ojasyvyys 77 cm
Ditch depth, 77 cm

Pohjaveden syvyys *Depth of ground water table*	Sarkaleveys, m — *Strip width*							
	5	10	20	30	40	50	60	100
11—20	—	—	3.37	2.56	3.75	—	1.90	1.03
21—30	—	4.63	1.67	2.06	2.75	2.03	0.77	0.42
31—40	—	2.33	0.59	1.11	1.16	0.76	0.42	0.22
41—50	—	0.61	0.33	0.61	0.77	0.76	0.49	.00
51—60	13.22	.00	.00	0.20	0.54	0.59	—	—
61—70	0.78	.00	—	—	—		—	—
71—80	.00	—	—	—	—		—	—

7. LOPPUKATSAUS

Tutkimus on suoritettu rimpiselle rahkanevalle perustetulta erikoiskoekentältä vuonna 1964 touko—lokakuussa kerätystä aineistosta. Tulosten nojalla voitiin tehdä päätelmiä siitä, miten ojasyvyys ja sarkaleveys vaikuttavat ojitusalueen valuntaan, ylivirtaamiin ja pohjaveden korkeuteen.

Pintavesivalunnan todettiin olevan 5, 10 ja 20 m:n levyisiltä saroilta merkitsevästi suurempi kuin 100 m:n saran pintavesivalunta. 10 ja 20 m:n

sarkojen pohjavesivalunta oli merkitsevästi suurempi kuin 100 m:n saran pohjavesivalunta. Ojasyvyyksistä voitiin todeta, että 77 cm:n ojien pinta- ja pohjavesivalunta oli merkitsevästi suurempi kuin 46 cm:n ja 30 cm:n syvyisten ojien.

Touko—lokakuun kokonaisvalunta oli 30 cm:n ojasyvyydellä 5, 10 ja 20 m:n levyisiltä saroilta merkitsevästi suurempi kuin luonnontilaiseen suohon verrattavalta 100 m:n saralta. 46 cm:n ojasyvyydellä oli myös 30 m:n levyisten sarkojen ja 77 cm:n ojasyvyydellä myös 60 m:n levyisten sarkojen kokonaisvalunta merkitsevästi suurempi kuin 100 m:n sarkojen kokonaisvalunta.

Eri ojasyvyyksiä ja sarkaleveyksiä toisiinsa verrattaessa todettiin, että 30 m:n sarkaleveys antoi 77 cm:n ojasyvyydellä suuremman valunnan kuin esim. 5 m:n sarka 46 cm:n ojasyvyydellä.

Ylivirtaamat osoittautuivat eniten riippuviksi kuukauden sademääristä, toiseksi ojasyvyydestä ja vasta kolmanneksi sarkaleveydestä. Voitiin todeta, että tehollisen ojasyvyyden suurentaminen 46 cm:stä 77 cm:iin suurentaa ylivirtaamia merkitsevästi. Pohjaveden pinnan syvyyteen voimakkaimmin vaikuttavaksi tekijäksi osoittautui sarkaleveys. Sarkaleveyden, ojasyvyyden ja säävaihteluiden avulla voidaan pohjavesipintojen vaihteluista selittää 96—99 %.

Sarkaleveyden ja ojasyvyyden vaikutusta koko kesän valuntaan tutkittaessa oletettiin valunnan riippuvuussuhde kummassakin tapauksessa suoraviivaiseksi. Valuntaa kuvaamaan saatiin yhtälö:

$$Y = 38.6 - 1.67\ X + 2.39\ Z$$

Y = touko—lokakuun valunta, mm
X = sarkaleveys, m
Z = ojasyvyys, cm

Yhtälö selitti valunnan vaihteluista 60 %.

Tässä esitetyt tulokset on katsottava suuntaa antaviksi ja vain rahkaturpeisten nevojen ojituksen jälkeistä touko—lokakuun vesitaloutta kuvaaviksi.

Yhdessä aikaisemmin julkaistujen tulosten kanssa nyt saadut tulokset osoittavat, että ojitusalueelta valuvien vesien määrään voidaan vaikuttaa ojasyvyydellä ja sarkaleveydellä. Käytännön ojituksissa on täten mahdollista jo ojituksen suunnitteluvaiheessa tehdyllä ojasyvyyden ja sarkaleveyden valinnalla ohjata ojituksen jälkeistä vesitaloutta alueen alapuolella olevien vesistöjen vesitalouden vaatimuksiin mahdollisimman hyvin sopivaksi.

SUMMARY

ON THE EFFECT OF STRIP-WIDTH AND DITCH-DEPTH ON WATER ECONOMY AND RUNOFF ON A PEAT SOIL

The present investigation deals with the influence of ditch depth and drain spacing on the internal and external water economy in an open *Sphagnum fuscum* swamp with *rimpis* [1]). The study was conducted in the swamp area of Alkkianneva at Karvia in the northern part of the province of Satakunta. The study area consisted of three ditch depth experimental areas, each of which had been drained employing seven different degrees of ditch spacing. The effective ditch depths in the year of measurement were 30, 46, and 77 cm. When, in 1961—63, the area was ditched, the drains were made 30, 80, and 120 cm in depth. The degrees of ditch spacing employed for the purpose of the investigation were 5, 10, 20, 30, 40, 60, and 100 m.

In the experimental area, the following factors were measured daily: runoff, height of the ground water level, precipitation, and air temperature. Runoff was measured with Thompson's measuring weirs by ditch depths and different degrees of ditch spacing and maximum runoff by means of indicator paper. To measure the runoff from the 40-m strips, limnigraphs were also used in all ditch depth experimental areas. The height of the ground water table was measured from ground water wells by ditch depths and strip widths. For the collecting of meteorologic data, there were two weather stations in the experimental areas. Measurements were carried out from May through October in the year of 1964.

On the basis of the results of the present investigation, we can draw conclusions about the influence of ditch depth and strip width on runoff, maximum runoff, and height of the ground water level in drained areas. In the first phase of work, the runoff was divided into runoff during rainy periods and runoff during dry spells. From strips 5—20 m in width, the runoff during rainy periods was proved to be 4-fold in comparison to that from 100-m strips. During dry spells, however, the runoff from the 100-m strips was only significantly exceeded by that from the strips measuring 10 and 20 m in width. In the different ditch depth experimental areas, the runoff both during rainy periods and dry spells was significantly greater from the areas with the water level adjusted at 77 cm than from those with the water level at 46 and 30 cm below the ground surface.

When the total runoff is studied by strip widths, it can be observed that in the areas with ditches 30 and 46 cm in depth, runoff does not exceed that from the 100-m strip significantly until ditch spacing is decreased to 30 m. The runoff values of the 5—30-m strips, however, do not differ significantly from each other. On the other hand, runoff is considerably greater from the 50-m strip than from the 100-m strip when the ditch depth reaches 77 cm. Although the 100-m strips in the different ditch depth

[1]) *Rimpi* is a Finnish term for depressions in swamps containing stagnating water. They have either no vegetation or only species requiring very wet sites. The surface peat is usually well humified.

experimental areas do not differ significantly from each other with respect to their runoff values, the runoff is already greater from the 60-m strip in the area with the greatest ditch depth than from the 100-m strip in the area with the smallest ditch depth. In the area with ditches 77 cm in depth, the increase in runoff with decreasing strip width is considerably greater than in the other areas. The total runoff from strips 30-50 m in width is double that from the 100-m strip, and the total runoff from the strips 5—20 m in width is almost 3-fold compared with that from the 100-m strip. If we regard the 100-m strip in the area with a ditch depth of 30 cm as being a swamp in natural state, we can see that under the conditions prevailing in the study area, the distance between ditches may not exceed 20 m by 30-cm ditch depth, if a considerable increase in the runoff is required as a result of ditching. The corresponding minimum requirement for 46-cm ditches is a maximum distance of 30 m between the ditches; for ditches 77 cm in depth, however, strips not narrower than 50—60 m are sufficient to double the runoff in comparison to that from 100-m strips. A strip width of 30 m by 77 cm in ditch depth already makes the runoff greater than that of 5-m strip width with 46 cm in ditch depth.

The maximum runoff proved to be the factor which is to the greatest extent dependent on the monthly precipitation. The factor second in importance, was the ditch depth, and the strip width the third. The greatest maximum runoff values were measured in August in the area with the ditch depth of 30 cm, and in May in the areas with the ditch depth 46 cm and 77 cm respectively. In the ditch depth experimental areas no differences were observed between those with 30 cm and 46 cm in ditch depth, but the maximum runoff values of both of these areas were significantly smaller than that of the area with a ditch depth of 77 cm. By months, only the runoff values for August and July differed significantly from each other. It was observed that increasing of the effective ditch depth from 46 to 77 cm increases the maximum runoff. By using 5-m strips instead of 40-m strips, we can increase the maximum runoff by 30 or 46 cm ditch depth. On the other hand, the maximum runoff values did not differ significantly in strips 40, 50, 60, and 100 m in width.

The factor with the strongest influence on the ground water proved to be the strip width. The material, however, was divided into two parts. In strips less than 20 m in width, the ditch depth had a considerably greater effect on the duration of the ground water than the strip width, while, on the other hand, the ditch depth had no influence on the duration of the ground water in strips exceeding 20 m, in width. When all strip widths were dealt with jointly, the influence of the strip width proved to be about two times stronger than that of the ditch depth. During the summer months, the ground water level was below the bottom level of the ditches for half of this period in the area with ditches 30 cm in depth and for one third of the same period in the area with 46-cm ditches.

At a ditch depth of 30 cm, the ground water level lies significantly higher in comparison to narrower strips only in the 60- and 100-m strips. At strip widths between 5 and 40 m, no differences could be observed in the depths of the ground water level. At a ditch depth of 46 cm, the 60- and 100-m strips form their own category, in which the ground water level is clearly more superficial than in strips of other widths. Likewise, the strip widths from 5 to 20 m differ from other degrees of ditch spacing on the basis of their deep-lying ground water. In the area with a ditch depth of 77 cm, the conditions are similar; however, the differences between the narrow strips are still greater there. When studying the differences between varying ditch depths by the same strip width, we can observe that neither the ditch depth nor the strip width has any influence on the height of the ground water level by 60 or 100 m in strip width,

but that both the ditch depth and the strip width are equivalent. Only when the strip width goes below 20 m, does the ditch depth begin to affect the ground water level markedly. According to the results from the experimental area now under study, the employing of different ditch depths has no significant influence on the distance of the ground water table from the ground surface when the strip width exceeds 30 m.

The influence of the diurnal fluctuations in the weather conditions on the ground water level is clearly greatest when the ditch depth is 30 cm, being as significant as the joint effect of the strip width and ditch depth. For ditch depths of 46 and 77 cm; the significance of the diurnal changes in the weather conditions is only small, and the difference between the various experimental areas remains almost without significance. The influence of the diurnal weather fluctuations on the height of the ground water level is the smaller the narrower the ditch spacing and the deeper the ditches that have been employed. Regression analysis of the dependence of the total runoff during the summer on the strip width and ditch depth gave the following regression equations:

(1) $Y = 184.9 - 1.67\ X$, in which
Y = runoff from May through October, 1964, mm
X = strip width, m

Equation (1), however, only explained 20 per cent of the fluctuation in the runoff.

The correlation between the total runoff during the summer and the ditch depth is described by the following equation:

(2) $Y = 2.39\ Z - 18.2$, in which
Y = runoff from May through October, 1964, mm
Z = ditch depth, m

Equation (2) was able to explain 40 per cent of the fluctuation in the runoff. Combining of these two equations gives the joint effect of strip width and ditch depth:

(3) $Y = 38.6 - 1.67\ X + 2.39\ Z$

Equation (3) explained 60 per cent of the fluctuation in the runoff. The share of the dispersion remaining unexplained was rather great. It includes the fluctuations caused by the weather. As stated in section 42, the influence of precipitation is not similar for all ditch depths and strip widths. The regression equations above only explain the fluctuations in the total runoff; no division into runoff during rainy periods and during dry spells was made in this phase of work.

Figs. 6 and 7 present the equations in question. Fig. 8 shows the deviation between equation (3) and the actual observations.

By means of the strip width, ditch depth, and diurnal changes in the weather conditions, 96—99 per cent of the diurnal fluctuations in the height of the ground water level can be explained.

On the basis of the results presented in Table 8, it could be observed that when the height of the ground water level remains unchanged, the runoff is the smaller the broader the strips and the lower the ditches that are used.

The results presented above must only be considered orientative and it is to be remembered that they are restricted to the water economy from May through October in drained *Sphagnum fuscum*-covered open swamps.

Together with the results from investigations published earlier, the findings of the present study indicate that we are able to affect the runoff from drained areas by means of the strip width and the post-drainage hydrology to correspond to the requirements of the water economy of water systems lying lower than the actual area of drainage by choosing the correct strip width and ditch depth already in the planning phase of the work.