METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

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

90

HELSINKI 1977

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

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

90

HELSINKI 1977

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

90

90.1 Leikola, M. 1976. Verhopuuston tiheyden vaikutus metsikön säteilyoloihin. Summary: Effect of the density of nurse crop on solar radiation inside the stand ..... 1—33

90.2 Virtanen, J. 1976. Lannoitustasaisuus lentolannoituksessa. Summary: Spreading evenness in aerial fertilization ..... 1—86

90.3 Laine, L. 1976. The occurrence of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. in woody plants in Finland. Seloste: Juurikäävän (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) esiintyminen puuvartisilla kasveilla Suomessa ..... 1—52

90.4 Raulo, J. 1977. Development of dominant trees in *Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh. plantations. Seloste: Viljeltyjen raudus- ja hieskoivikoiden valtapuiden kehitys ..... 1—14

90.5 Raulo, J. & Koski, V. 1977. Growth of *Betula pendula* Roth progenies in southern and central Finland. Seloste: Rauduskoivujälkeläistöjen kasvu Etelä- ja Keski-Suomessa ..... 1—38

90.6 Annila, E. 1977. Control of the pine cone weevil, *Pissodes validirostris* Gyll. (Coleoptera: Curculionidae) in pine seed orchards. Seloste: Käpypikikärsäkkään, *Pissodes validirostris* Gyll., Coleoptera: Curculionidae, torjunta siemenviljelmillä ..... 1—14

VERHOPUUSTON TIHEYDEN VAIKUTUS METSIKÖN SÄTEILYOLOIHIN

MATTI LEIKOLA

EFFECT OF THE DENSITY OF THE NURSE CROP ON SOLAR RADIATION INSIDE THE STAND

HELSINKI 1976

ISBN-951-40-0245-8

ISSN-0026-1610

Helsinki 1976. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosaston tutkijain neuvottelussa Punkaharjulla syyskuussa 1969 todettiin, että verhopuuston käyttöön liittyvät ongelmat olivat eräs metsänhoidon olennaisia ekologisia kysymyksiä. Vaikka verhopuustoa käytettiin suhteellisen runsaasti suojaamaan taimistoa ilmastollisilta ym. vaaroilta, vain sen merkityksestä hallan torjunnassa oli käytettävissä tutkimustuloksia. Ongelmakenttää selvittävät kokeet aloitettiin tämän vuoksi Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen kokeilualueessa syksyllä 1970 ja ekologisia mittauksia jatkettiin vuoden 1973 loppuun saakka.

Verhopuuston eri vaikutusten tutkimuskenttä jaettiin kolmeen pääryhmään: —verhopuuston vaikutus metsikön säteilyoloihin, —verhopuuston vaikutus metsikön lämpöoloihin sekä — verhopuuston aiheuttama juuristokilpailu. Muita kysymyksiä, kuten verhometsikön lumi- ja routasuhteita, kosteusoloja ja ravinnetasetta selvitettiin Suonenjoella suppeammin. Edellä esitetyt osatutkimukset päätettiin julkaista erillisinä yhtenäisen sarjan muodossa. Nyt käsillä oleva julkaisu muodostaa tämän sarjan ensimmäinen osan.

Tutkimuksen kenttäkoealojen pystytyksestä ja säteilyn mittauksesta on vastannut metsäteknikko Pekka Suolahti. Tutkimustulosten laskennan on ohjeiden mukaan suorittanut metsäteknikko Timo Ylitalo yhdessä fil.kand. R. Häkkisen kanssa. Muuhun tutkimuksen valmisteluun ovat osallistuneet metsäteknikko Leo Tervo, yo. Raimo Junttila, rouvat Anu Lukkala, Liisa Salmi ja Riitta Iles sekä neiti Riitta Pyykkö. Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit Olavi Huikari, Tauno Kallio ja Paavo Yli-Vakkuri sekä maat.metsät.lis. Seppo Kellomäki ja maat.metsät.kand. Paavo Pelkonen. Englanninkielisen lyhennelmän on kääntänyt metsänh., Ph.D. Kari Mustanoja ja käytetyn venäjänkielisen kirjallisuuden metsänhoitaja Kullervo Etholén.

Esitän parhaat kiitokseni kaikille tutkimuksen eri vaiheissa mukana olleille henkilöille sekä Ilmatieteen laitokselle, joka on valmistanut ja kalibroinut käytetyt säteilymittarit.

Helsingissä, syyskuussa 1976

Matti Leikola

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1. Johdanto 5
2. Tutkimusaineisto ja -menetelmä 7
   21. Tutkimusalue 7
   22. Auringon säteilyn mittaus 9
   23. Aineiston käsittely 14
   24. Mittauskausien edustavuus 15
3. Tutkimustulokset 16
4. Tulosten tarkastelua 23
5. Tiivistelmä 25
6. Kirjallisuus 26
7. Summary 29

1. JOHDANTO

Auringon lähettämä säteilyenergia, joka saapuu maan pintaan osaksi suorana säteilynä, osaksi taas ilmakehän eri puolilta hajasäteilyna, on paitsi ilmaston tärkein perustekijä, myös kasvien fotosynteesin välttämätön edellytys. Auringon säteilyn määrä kohoaa Suomessa aukean maan pinnalla kirkkaina ja aurinkoisina päivinä jopa 750 cal/cm² vuorokaudessa. Kesäkauden aikana säteilyn määrä on noin 13 000—16 000 cal/cm² kuukaudessa Etelä-Suomessa (Säteily- ja auringonpaistehavainnot 1968, Rossi 1976). Kun kasvukauden aikaisen säteilyenergian kokonaismäärä vetää Suomessa hyvin vertoja metsänkasvatukselle ilmastollisesti suotuisampien seutujen saamalle säteilymäärälle, ei kysymystä auringon säteilyn riittävyydestä Pohjois-Euroopassa juuri olekaan käsitelty metsäpuiden toimeentuloedellytysten kannalta. Moneen otteeseen on päinvastoin korostettu kasvukauden aikana lankeavan säteilyn suurta määrää ja suhteellista edullisuutta metsäpuiden ja monien maatalouskasvien menestymistä ajatellen (esim. Alho 1972, Valmari 1974).

Kysymys säteilyenergian riittävyydestä saa kuitenkin aivan toisen painon, kun ajatellaan varttuneen puuston alla kasvatettavaa taimistoa. Koska säteilyenergian määrä täystiheän metsän alla on tunnetusti vain pieni osa aukean alan saamasta säteilystä, taimien yhteyttämistoiminnan vaarantuminen on näissä oloissa merkityksellinen uuden puusukupolven kehitykseen vaikuttava tekijä (esim. Vaartaja 1951, Yli-Vakkuri 1961).

Metsämeteorologiaa on varsinkin Saksassa ja Englannissa harrastettu jo kauan, ja sikäläisten metsien säteilyoloista on voitu muodostaa tarkka ja monipuolinen kuva (katsaukset aiheeseen esim. Anderson 1964 a, Mitscherlich ym. 1965, 1967, Bainbridge ym. 1966, Reifsnyder 1967). Ruotsissa suoritetuista metsiköiden säteilyoloja selvittävistä tutkimuksista on ennen kaikkea mainittava Stålfeltin (1924) valaistusmittaukset skånelaisissa kuusikoissa sekä Odinin (& Perttu 1966) ja Pertun (1970) monipuoliset säteilytaseen mittaukset erilaisissa metsiköissä Keski- ja Pohjois-Ruotsissa.

Sen sijaan Suomessa on säteilynmittauksia suoritettu metsikön sisällä erittäin niukalti, vaikka viittauksia tähän kysymykseen on runsaasti monissa metsänuudistamista käsittelevissä tutkimuksissa. Kauttu (1952) on seurannut erään varttuneen kuusikon valaistusoloja Pohjois-Hämeessä yhden kesäkauden ajan ja Sirén (1955) on mitannut paksusammalkuusikon ja koivikon valaistusoloja kesäkauden aikana Poh-

jois-Suomessa. Julkaisemattomassa tutkielmassaan Peltoniemi ja Ravela (1965) ovat seuranneet valaistusolojen vaihtelua yhteensä 13 eri metsikössä tehtyjen mittausten avulla. Myös Raulo (1973) on suorittanut säteilyn mittauksia eri tiheysastetta edustavissa rauduskoivikoissa Pohjois-Karjalassa.

Tässä julkaisussa keskitytään eri tiheysastetta edustavien verhopuulepikoiden latvuskerroksen alla kasvukauden aikana vallitsevien säteilyolojen tarkasteluun. Kysymystä käsitellään ennen kaikkea metsänhoidon kannalta pidättäytyen yksityiskohtaisesta mikroilmastollisesta analyysistä. Täydellisiä katsauksia metsikön säteilyoloista on esitetty mikroilmasto-oppikirjoissa (esim. Franssila 1949, Geiger 1966, Berényi 1967, Mitscherlich 1971) sekä alan erikoistutkimuksissa.

Tässä tutkimuksessa ilmaistaan säteilyn lämpöenergia kaloreina (cal), mikä jouleina on 4.1868 J yhtä kaloria kohden. (katso v.v.min. päätös 8. 8. 1974; S. Asetuskok. 867/74).

2. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄ

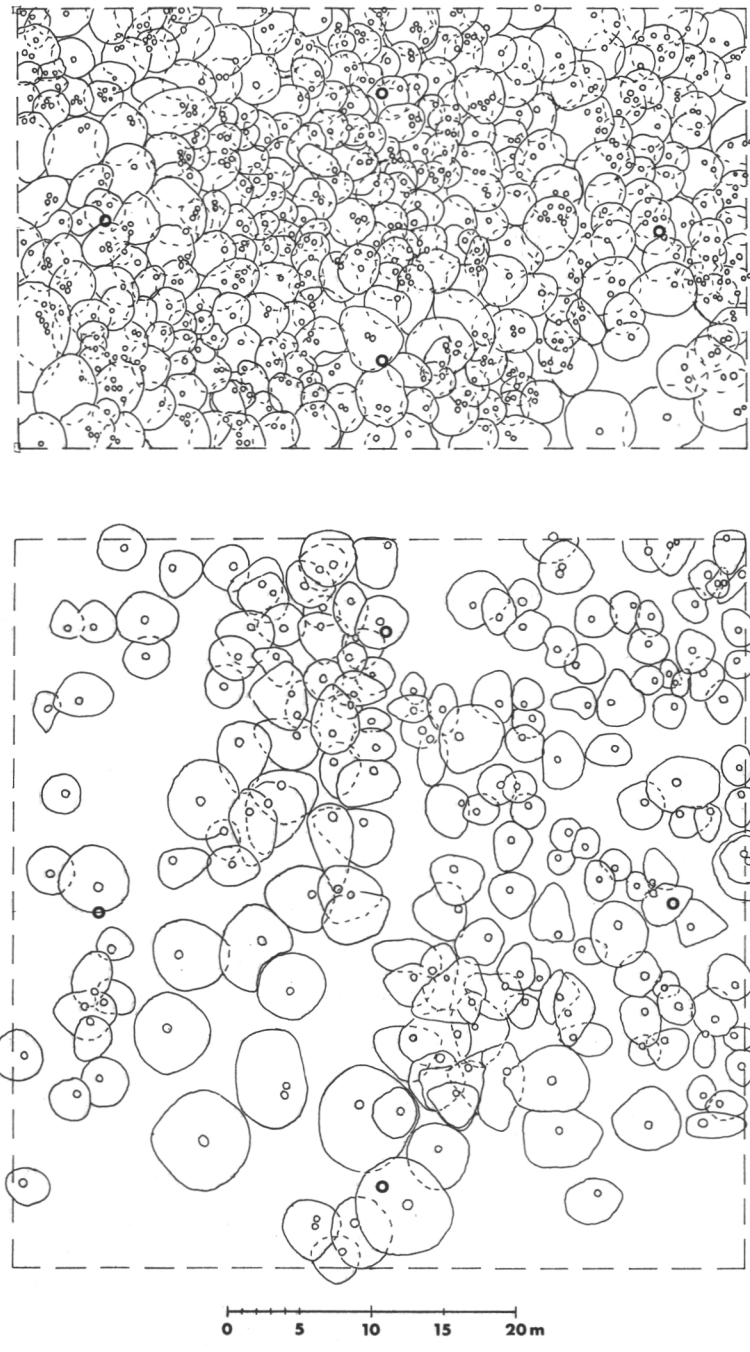
21. Tutkimusalue

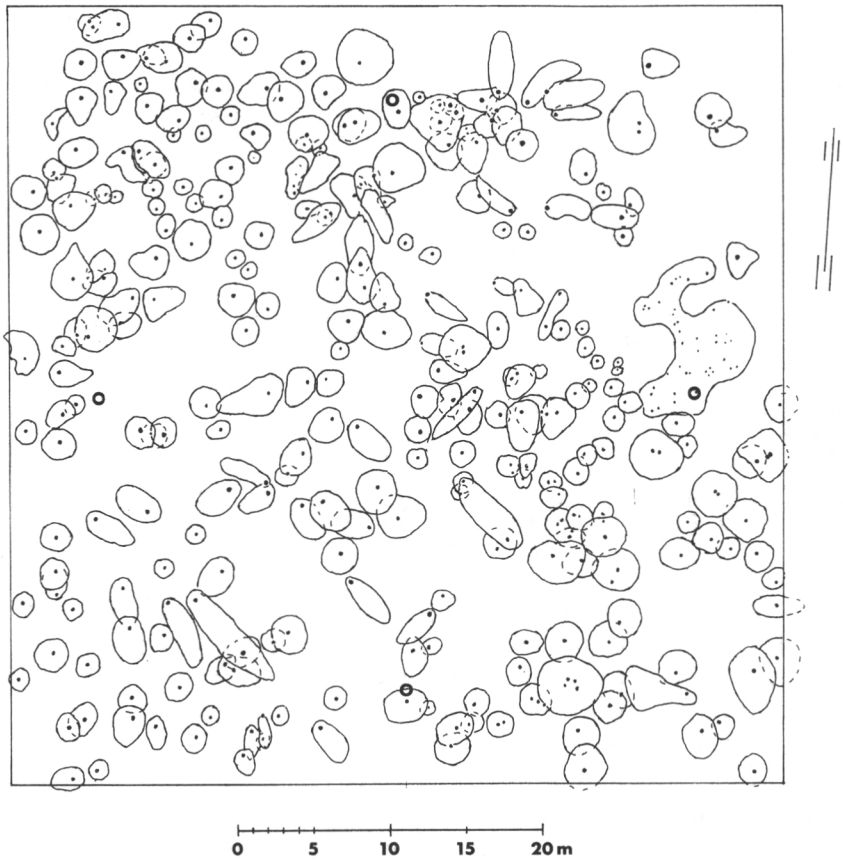
Tutkimusalueeksi valittiin Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen kokeilualueeseen kuuluvalla Haudanlahden tilalla kasvava harmaalepikko (62°41′P, 26°57′I, 102 m mpy). Alue oli aikaisemmin ollut hakamaata, mutta se oli metsittynyt luontaisesti tiheän puuston peittoon. Metsätyyppi oli OMT.

Syksyllä 1970 erotettiin lepikkoon neljä koealaa, joiden puustoa käsiteltiin eri tavoin seuraavasti: Ensimmäinen koeala hakattiin paljaaksi niin, että aukea alue ulottui metsikön viereiselle pellolle saakka, toinen koeala hakattiin kaavamaisesti alaharventaen, kolmannelta koealalta hakattiin kaikki ainespuuksi kelpaavat rungot määrämittaan harsien ja neljäs koeala jätettiin käsittelemättä. Aukean koealan suuruus oli n. 50 × 80 m, harvennetun ja harsitun koealan 50 × 50 m ja luonnontilaisen koealan 50 × 30 m. Kunkin metsikkökoealan ympärille jätettiin vähintäin 10 m vaippa, joka oli luonnontilaisen koealan sivuilla 20—40 m leveä.

Taulukossa 1 on esitetty metsikkökoealojen puuston tärkeimmät tunnukset. Hakkuun jälkeen kukin koeala poikkesi toisista selvästi. Harsitun koealan puuston runkoluku oli noin kolme kertaa suurempi kuin harvennetun koealan, mutta koealojen puuston kuutiomäärä oli lähes sama. Kun luonnontilaisen koealan puuston kuutiomäärä oli noin kymmenen kertaa suurempi kuin harsitun koealan kuutiomäärä, edellisen koealan runkoluku oli vain noin kaksi kertaa suurempi kuin jälkimmäisen. Kaikkien koealojen puuston valtapituus oli samaa suuruusluokkaa, mutta puuston keskipituudessa oli selviä eroja. Alaharvennus nosti puuston keskipituutta ja keskiläpimittaa, mutta harsinta pienensi näitä selvästi.

Koska metsikön latvuskerros vaikuttaa metsikön säteilyoloihin kaikkein voimakkaimmin (esim. Vézina 1965, Mitscherlich ym. 1967), tähän tunnukseen kohdistettiin erityinen huomio. Kesällä 1971 kaikki metsikkökoealat kartoitettiin ja jokaisen yli 1.3 m:n pituisen puun latvusprofiili kuvattiin latvuskartalle (kuva 1). Puiden latvuksen muoto hahmoteltiin käyttäen apuna neljää rungosta kohtisuoraan toisiaan vastaan tehtyä mittausta (tarkkuus 10 cm). Myös metsikön latvuspeittävyys mitattiin tuolloin Cajanuksen putkella käyttäen 200 mittauspistettä koealaa kohden (katso esim. Sarvas 1953).


0
5
10
15
20 m



Kuva 1. Metsikkökoealojen latvusprofiilit. Säteilymittarien sijoituspisteet on merkitty vahvennetuilla renkailla. a. Luonnontilainen koeala (vasemmalla yllä), b. Harvennettu koeala (vasemmalla alla), c. Harsittu koeala (yllä).

Figure 1. Crown profiles for the trial plots with trees. The sites of the radiction meters are indicated with circles. a. Untreated plot (upper Fig. on the left), b. Thinned plot (downer Fig. on the left), c. Selectively cut plot (up).

22. Auringon säteilyn mittaus

Auringon säteilyn mittauslaitteeksi valittiin Bellani-pyranometri, joka on osoittautunut metsikköekologisissa tutkimuksissa luotettavaksi ja helppokäyttöiseksi (esim. Mac Hattie 1961, Vézina ja Péch 1964, Mitscherlich ym. 1965, Leikola 1969). Laitteen anturiosan muodostaa kaksi samankeskistä, tyhjiön erottamaa kupua, joista ulompi on läpinäkyvä ja sisempi värillinen, useimmiten musta, hopeinen tai tummansininen. Sisempi kupu on osaksi täytetty värittömällä alkoholilla. Kun auringon säteily lämmittää sisempää kupua, nestettä haihtuu ja tiivistyttyään sitä

Taulukko 1. Metsikkökoealojen tärkeimmät taksatoriset tunnukset. Mittaus marraskuussa 1970.
Table 1. The principal stand parameters for the experimental plots under forest cover. Measured in November 1970.

Puuston tunnus *Characteristic of the stand*	Luonnontilainen koeala *In natural condition*	Harvennettu koeala *Thinned from below*	Harsittu koeala *Selected from above*
Runkoluku — *No. of stems*	4 382 kpl	808 kpl	2 316 kpl
Kuutiomäärä — *Volume* ...	115 k-m³/ha — *cu.m./ha*	13.4 k-m³/ha — *cu.m./ha*	12.7 k-m³/ha — *cu.m./ha*
Rungon keskikuutio — *Mean stem volume*	0.03 k-m³— *cu.m.*	0.06 k-m³ — *cu.m.*	0.005 k-m³ — *cu.m.*
Keskipituus — *Mean height* .	9.1 m	11.4 m	4.1 m
Valtapituus—*Dominant height*	13.6 m	14.9 m	12.1 m
Keskiläpimitta rinnank. — *Mean DBH*	7.6 cm	12.1 cm	2.9 cm
Pohjapinta-ala — *Basal area*	22.9 m²/ha	9.9 m²/ha	2.8 m²/ha
Latvuspeittävyys [1]) — *Crown closure* [1])	99 %	80 %	55 %

[1]) Cajanuksen putkella, 200 hav. (Sarvas 1953). Mittaus kesäk. 1971.
Cajanus' cylinder, 200 obs. (Sarvas 1953). Measured in June 1971.

valuu kuvun sisällä olevaa lasiputkea myöten noin 50 cm:n pituisen lasisen putken alaosaan, joka on varustettu mitta-asteikolla (laitteen rakenteesta ja toimintaperiaatteesta esim. Mörikofer 1940, Rossi 1951, Courvoisier ja Wierzejewski 1954). Laite tyhjennetään kerran päivässä kallistamalla ja valuttamalla neste lasiputken alaosasta jälleen anturikuvun sisälle.

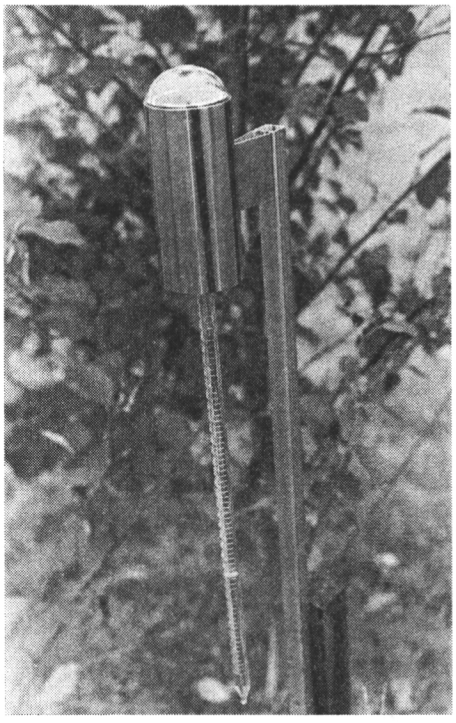
Koska laitteen alaosaan kerääntynyt nestemäärä on suoraan verrannollinen anturiosan vastaanottaman säteilyn määrään, päivittäinen kokonaissäteily voidaan laskea käyttäen korjauskertoimia, jotka valmistajat yleensä määräävät kokemusperäisesti kullekin laitteelle erikseen. Muuntokertoimen arvo on riippuvainen ilman lämpötilasta, joka tässä tutkimuksessa määritettiin kultakin koealalta sääkojuun sijoitetulla termografilla. Pyranometri tulee ohjeiden mukaan lukea ja asettaa käyttökuntoon kerran vuorokaudessa, mutta milloin auringonpaisteen määrä oli suuri, havaittiin tarpeelliseksi tyhjentää aukealle alalle sijoitettu mittari kaksi kertaa päivässä.

Tässä tutkimuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksen valmistamia ja kalibroimia pyranometrejä, jotka eroavat jonkin verran yleisimmin tunnetusta, Davois'in observatorion valmistamasta mallista. Metsikköekologista mittaustoimintaa ajatellen suurin ero lienee siinä, että pallonmuotoisesta anturikuvusta on siirrytty meteorologisessa tutkimustoiminnassa lähes säännönmukaisesti käytettyyn tasaiseen, vaakasuoraan anturipintaan (kuva 2).

Erityisesti ekologisessa tutkimuksessa on kyllä jo kauan arvosteltu periaatetta mitata vain tiettyyn pintaan osuvaa säteilyä sen sijaan että pyrittäisiin kolmiulotteisessa tilassa vallitsevien säteilyolojen kuvaamiseen (mm. Richardson 1959). Vaikka on voitu osoittaa, että pallonmuotoinen anturi ottaa paremmin kuin tasainen vaakasuora anturipinta huomioon mm. kasvillisuuden laadun, molemmat anturimallit voidaan yhtä oikeutetusti asettaa kyseenalaisiksi. Kuten Anderson (1964 a) huo-

mauttaa, säteilymittarin vaakasuora anturipinta jäljittelee lähinnä vaakasuoraa kasvin lehteä, pallonmuotoinen anturi taas pallomaista kasviyhdyskuntaa (esim. eräitä leviä), mutta esim. metsikön latvuskatoksen alla kasvavan havupuutaimiston neulasto poikkeaa selvästi kummastakin. Neulasten saamaa kokonaissäteilyä arvosteltaessa on aina otettava huomioon taimien verson, oksiston ja neulaston muoto, neulasten oma varjostus (esim. Kramer ja Clarck 1947) ym. toistaiseksi huonosti hallitut, fotosynteesin intensiteettiin maastossa vaikuttavat tekijät (vrt. Hari ym. 1974).

Kullekin koealalle pystytettiin 2 m:n korkuiset mittausmastot, joihin säteilymittarit voitiin kiinnittää. Aukealla alalla käytettiin yhtä, mutta kaikilla kolmella metsikkökoealalla neljää mastoa, jotka sijoitettiin systemaattisesti koealojen sivujen puolivälille noin viiden metrin päähän koealan reunasta (kuva 1).



Kuva 2. Tutkimuksessa käytetty Ilmatieteen laitoksen valmistama Bellani-pyranometri.
Figure 2. The Bellani pyranometer (solarimeter) made by the Finnish Meteorological Institute and used in the study.

Jotta metsikössä suoritetuille mittauksille saataisiin suurempi edustavuus vaihdettiin mittareiden paikkaa säännöllisesti kymmenen päivän välein. Eri mittauspisteistä saadut säteilyn päivittäiset keskiarvot on esitetty taulukossa 2. Verrattaessa varianssianalyysillä saman koealan eri mittauspisteiden antamia tuloksia, osoittautui luonnontilaisen koealan mittauspiste n:o 4 muista pisteistä merkitsevästi eroavaksi. Muiden mittauspisteiden välillä ei ollut merkitseviä eroja.

Latvuksen kautta lankeavan säteilyn tilakohtainen vaihtelu on aina ollut eräs suurimpia metsikön säteilyolojen mittauksessa epätarkkuutta aiheuttavia tekijöitä. Varsinkin milloin latvuskerros on harva, vaihtelu on erittäin selvää kirkkaan auringonpaisteen läikkien siirtyessä auringon kierron mukaan ja vaihtuessa nopeasti varjoisiin alueisiin (esim. Nägeli 1940, Perttu 1970, Hari ym. 1976). Mm Alekseje vin (1963) mukaan valon jakaantuminen oli täystiheässä MT-kuusikossa tilakohtaisesti hyvin epäsymmetristä valtaosan havainnoista keskittyessa 200—400 lux'in luokkiin yksittäishavaintojen ulottuessa aina 2 500 lux'iin saakka. Mänty-kuusi-sekametsässä valon voimakkuuden jakaantuminen eri luokkiin oli symmetrisempää ja kohtalaisen aukeassa rämemännikössä kaikkein symmetrisintä, joskin tilakohtaiselta hajonnaltaan suurinta.

Taulukko 2. Auringon päivittäisen kokonaissäteilyn määrä eri mittauspisteissä.
Table 2. The amount of the daily solar radiation at the measuring points.

Koeala (latvuspeitt., %) *Experimental plot (crown closure, per cent)*	Vuosi *Year*	Mittauspiste — *Measuring point* 1 $\bar{x}$	1 s	2 $\bar{x}$	2 s	3 $\bar{x}$	3 s	4 $\bar{x}$	4 s	Keskim. *Average* $\bar{x}$	Keskim. *Average* s
		Säteily, cal/cm²/vrk — *Radiation, cal/cm²day*									
Luonnontilainen — *Untreated* (99 % — *per cent*)	1971	119	62	132	67	122	49	92	24	117	55
	1972	130	76	133	80	117	46	98	25	122	64
	1973	125	52	142	81	116	57	115	55	126	64
	1971—73	125	64	136	77	118	51	102	38	122	61
Harvennettu — *Thinned from underneath* (80 % — *per cent*)	1971	171	96	183	97	229	103	128	56	180	96
	1972	198	87	204	105	201	76	183	70	198	86
	1973	187	97	178	100	164	78	202	103	182	94
	1971—73	185	93	189	100	198	89	170	83	186	92
Harsittu — *Selectively cut* (55 % — *per cent*)	1971	351	214	249	156	293	164	236	182	286	185
	1972	295	136	234	141	268	118	248	129	262	132
	1973	259	132	300	105	271	101	256	144	271	147
	1971—73	302	167	257	138	277	129	246	153	273	149

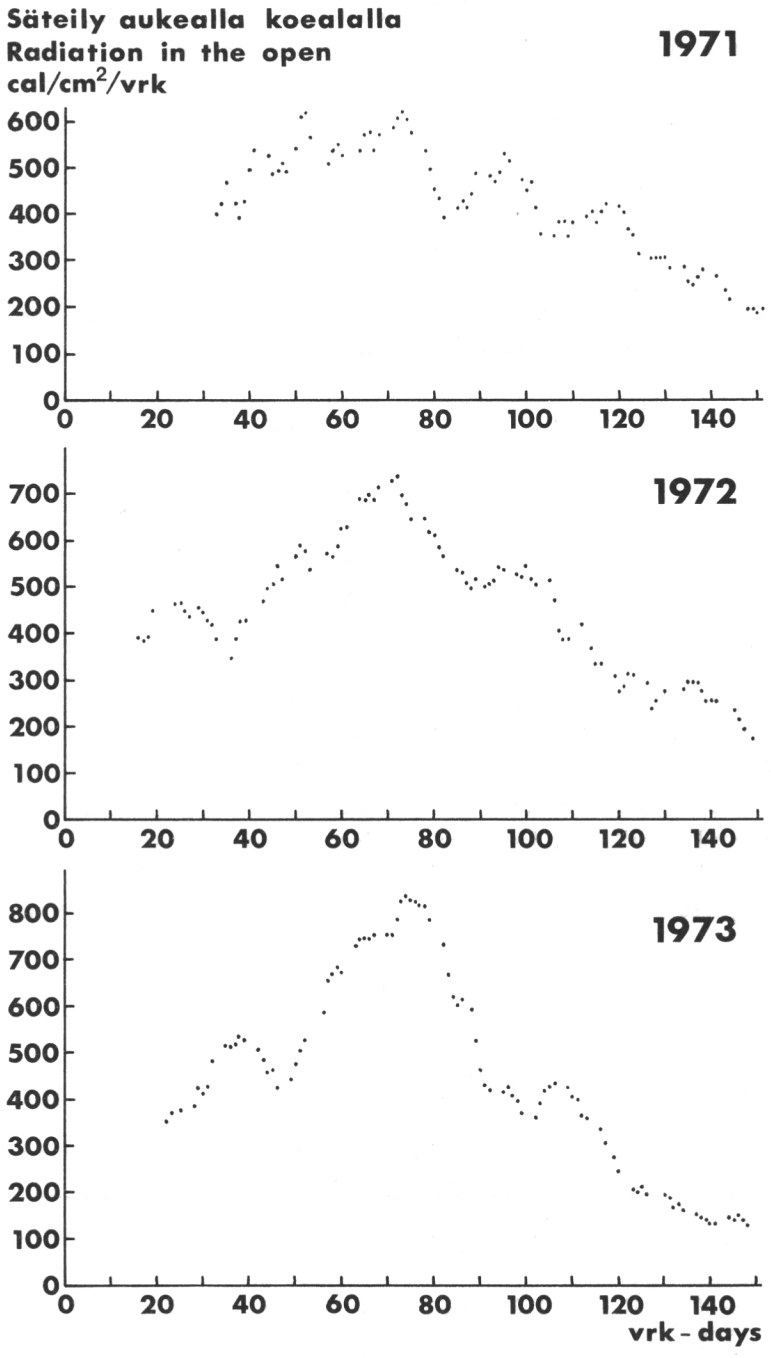
Tämän tutkimuksen koealoilla säteilyn vaihtelu oli kuitenkin likimain samaa suuruusluokkaa latvuspeittävyyden eroista huolimatta: keskimääräinen variaatiokerroin oli luonnontilaisella alalla 50 %, harvennetulla alalla 49 % ja harsitulla alalla 55 %.

Koealan eri mittauspisteiden antamien tulosten vaihtelu johtuu kahdesta seikasta: erilaisista säteilyoloista kussakin mittauspisteessä sekä auringon säteilyn määrän vaihtelusta kymmenen päivän mittausjakson mukaan. Näiden vaikutuksen erottamiseksi toisistaan laskettiin aukean alan säteilyhavaintojen päivittäiset kymmenen päivän liukuvat keskiarvot (kuva 3). Vaikka yleinen, keskikesää kohden kasvava ja syksyä kohden heikkenevä suuntaus on selvästi näkyvissä, mittauspaikkojen säännöllisen vaihtamisen mukaista kymmenen päivän jaksottaisuutta ei ole havaittavissa. Näin ollen voidaan kunkin koealan puitteissa mittauspisteiden välinen vaihtelu katsoa pääasiassa em. pisteiden paikkakohtaisesti erilaisten säteilyolojen aiheuttamaksi.

Edellä esitetyn vaihtelun yksittäisiin päivittäisiin säteilyarvoihin tuoma mahdollinen virhe korjattiin käyttämällä kertoimia, jotka saatiin laskemalla kunkin mittauspisteen arvojen keskimääräinen poikkeama kunkin koealan keskiarvosta kunakin vuonna. Näin saatuja vuosi- ja koealakohtaisia, korjattuja säteilyhavaintosarjoja käytettiin jatkolaskennassa varsinaisena perusaineistona.

Vuotuiset säteilynmittauskaudet olivat seuraavat:

Mittausvuosi	Mittaus alkoi	Mittaus päättyi
1971	17. 5.	30. 9.
1972	3. 5.	29. 9.
1973	9. 5.	28. 9.



Kuva 3. Auringon päivittäinen kokonaissäteily Suonenjoen koealueen aukealla koealalla. 10 vrk:n liukuvat keskiarvot.

Figure 3. Total daily solar radiation in the open plot at Suonenjoki. 10-day moving averages.

Silmävaraisten fenologisten havaintojen mukaan mittauskaudet kattoivat hyvin koko sen ajan, jolloin koealojen puusto oli lehdessä. Suonenjoen seudulla tämä kausi alkaa keskimäärin toukokuun viimeisellä viikolla ja kestää aina lokakuun ensimmäiselle viikolle (K u j a l a 1924).

23. Aineiston käsittely

Päivittäisten säteilyhavaintojen korjattu perussarja tarkastettiin huolellisesti ja aineiston lopulliseen laskentaan kelpuutettiin seuraava määrä havaintoja:

Vuosi	Havaintoja, kpl
1971	92
1972	100
1973	85
Yhteensä	277

Aukean alan ja eri verhopuustokoealojen välisiä säteilymäärien riippuvuuksia laskettaessa tutkittiin aluksi riippuvuuksien yleinen muoto käyttäen hyväksi tietokoneella laskettuja pisteparvien graafisia kuvaajia. Tämän jälkeen valittiin paras riippuvuuden malli ja määrättiin tuntemattomat parametrit pienimmän neliösumman periaatteella kullekin vuodelle erikseen. Eri vuosien tulosten eroavuus testattiin varianssianalyysillä, ja milloin kunkin vuoden havainnot eivät poikenneet toisistaan merkitsevästi, käytettiin päätulosten laskennassa kaikkien kolmen havaintovuoden yhdistettyjä arvoja.

Taulukko 3. Auringon säteilyn kuukausikohtaiset kokonaismäärät Luonetjärvellä vv 1971—73, sekä keskimäärin vv 1958—75.

Table 3. Solar radiation recorded at Luonetjärvi, monthly totals for 1971—1973 and mean monthly totals for 1958—75.

Kuukausi *Month*	1971		1972		1973		1971—73 Keskim.—*Mean*		1958—75 Keskim. — *Mean*	
	cal/cm²	%	cal/cm²	%	cal/cm²	%	cal/cm²	%	cal/cm²	%
Toukokuu — *May* ..	14 590	113.0	14 409	111.6	12 462	96.5	13 820	107.0	12 914	100.0
Kesäkuu — *June*	16 598	108.5	15 681	102.6	15 980	104.5	16 086	105.2	15 291	100.0
Heinäkuu — *July* ...	16 826	120.1	16 519	117.9	17 244	123.1	16 863	120.3	14 013	100.0
Elokuu — *August* ..	11 202	109.7	9 457	92.6	10 331	101.2	10 330	101.2	10 212	100.0
Syyskuu — *September*	6 500	120.0	6 294	116.2	5 461	100.8	6 085	112.4	5 415	100.0
Yhteensä — *Total*	65 716	113.6	62 360	107.8	61 478	106.3	63 184	109.2	57 845	100.0

24. Mittauskausien edustavuus

Aukean alan päivittäisiä säteilyhavaintoja verrattiin lähimmällä sääasemalla, Jyväskylän lentokentällä Luonetjärvellä (62°25'P, 24°55'I, H 141 m) mittauskauden aikana suoritettuihin säteilyhavaintoihin. Luonetjärvellä säteilyhavainnot oli tehty Moll-Gorczynskin pyranometrillä (R o s s i 1976). Riippuvuus osoittautui suoraviivaiseksi ($y = 165.12 + 0.601\ x$; y = päivittäinen säteily Luonetjärvellä, cal/cm²; x = päivittäinen säteily Suonenjoen aukealla koealalla, cal/cm²) ja keskinäisen korrelaatiokertoimen arvo oli +0.72*** (v = 276).

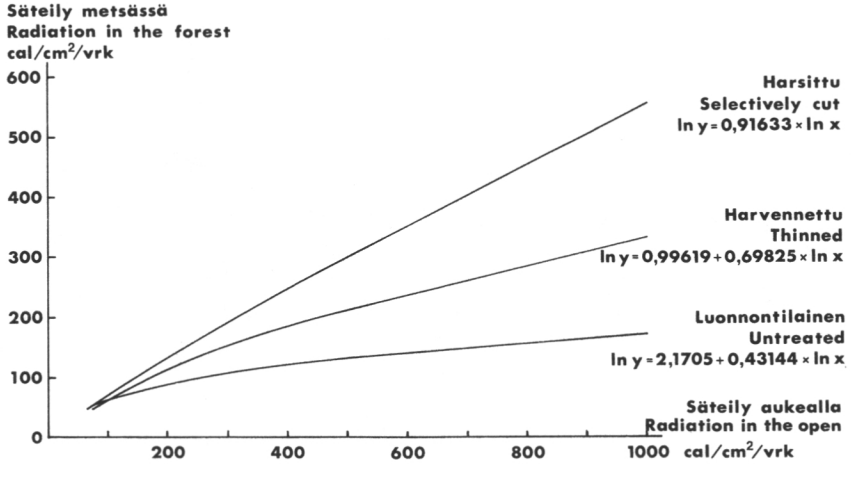
Taulukossa 3 on vertailtu Luonetjärvellä mitattuja pitkän ajan (1958—1975) kuukausikohtaisia säteilysummia havaintokauden vastaaviin säteilysummiin. Tämän mukaan varsinkin heinäkuu sekä vuosina 1971 ja 1972 myös touko- ja syyskuu ovat olleet tavallista aurinkoisempia. Sekä jokainen mittausvuosi erikseen että koko mittauskauden keskimääräiset kuukausikeskiarvot ovat olleet pitkän ajan keskimäärää korkeammat. Näin ollen tutkimuksen tulokset edustavat yleisesti ottaen keskimääräistä aurinkoisemman ja säteilyltään runsaamman jakson olosuhteita.

3. TUTKIMUSTULOKSET

Kuvassa 4 on vertailtu aukean alan ja eri tavoin käsiteltyjen metsiköiden säteilyoloja toisiinsa. Luonnontilaisen koealan latvuskatoksen alla säteilyn määrä oli keskimäärin alhaisin ja sitten seurasivat järjestyksessä alaharvennettu ja harsittu koeala. Kiinteimmän riippuvuuden säteilymäärien välille tarjosi kuvassa esitetty logaritminen funktiomuoto, jota käytettäessä koealojen säteilymäärien keskinäiset korrelaatiokertoimet olivat seuraavat:

	r
Aukea ja harsittu koeala	0.89***
Aukea ja harvennettu koeala	0.85***
Aukea ja luonnontilainen koeala	0.62***

Kuvaa 4 vastaavien suhteellisten säteilyn voimakkuuksien vertailu on esitetty graafisesti kuvassa 5. Useista tarjolla olleista mahdollisuuksista riippuvuuden toteutti parhaiten x:n käänteisfunktio. Koealojen säteilymäärien keskinäiset korrelaatiokertoimet olivat seuraavat:



Kuva 4. Metsikön latvuskerroksen alle langenneen päivittäisen säteilyn määrän riippuvuus aukean alan saamasta säteilystä eri koealoilla. Havaintokaudet 1971—73.

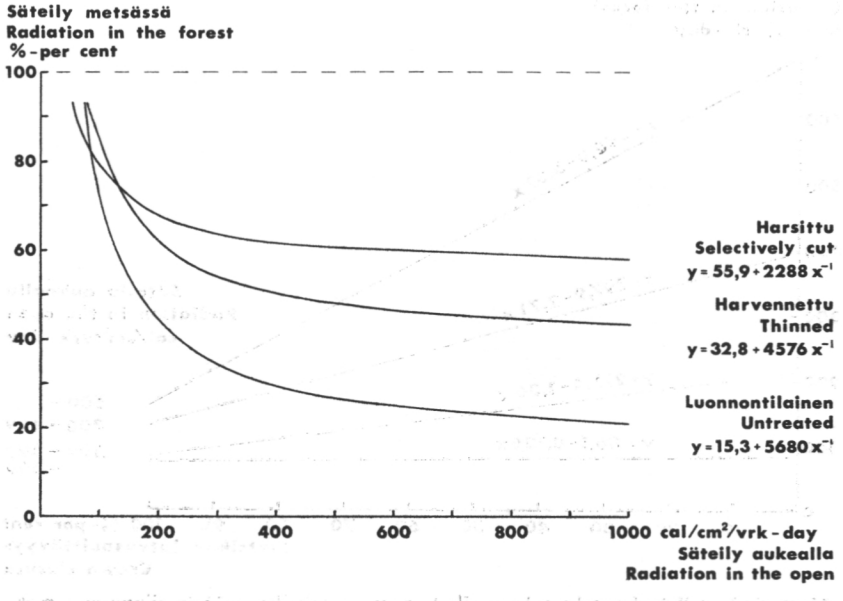
Figure 4. Relationship between the daily radiation recorded under the forest canopy and the radiation recorded in the open. Recording periods 1971—73.

	r
Aukea ja harsittu koeala	0.32
Aukea ja harvennettu koeala	0.66***
Aukea ja luonnontilainen koeala	0.76***

Kuten korrelaatiokertoimien suuruudesta voi päätellä, metsikön suhteellisen säteilymäärän riippuvuus aukean alan saamasta säteilystä oli kiintein luonnontilaisella ja heikoin harsitulla alalla. Kaikille koealoille oli kuitenkin yhteistä, että silloin kun säteily aukealla alalla oli ollut vähäistä, ts. kun taivas oli ollut pilvessä, metsiköiden puiden latvukset olivat päästäneet lävitseen suuremman osan säteilystä kuin selkeällä ja aurinkoisella säällä, jolloin päivittäinen säteily oli ollut voimakasta. Nyt saatu tulos ei siis ole sama kuin yleinen käsitys, jonka mukaan suhteellinen säteilyn voimakkuus on metsikössä likipitäen säästä riippumaton (esim. Franssila 1949 s. 185). Sen sijaan on ymmärrettävää, että auringon paistaessa ja suoran säteilyn muodostaessa pääosan maan pinnalle tulevasta säteilystä latvuskatos voi muodostaa säteilylle tehokkaamman esteen kuin milloin koko päivittäinen säteily saadaan taivaan hajasäteilynä.

Määrältään erilaisen säteilyn tunkeutumista tiheydeltään erilaisten metsiköiden latvusten alle selvitettiin edelleen jakamalla aineisto aukean alan saaman säteilyn voimakkuuden mukaan neljään luokkaan seuraavasti (vrt. Schomaker 1968 ym.):

— yli 500 cal/cm²; taivas kokonaan tai lähes pilvetön, sää aurinkoinen,



Kuva 5. Metsikön latvuskerroksen alle langenneen päivittäisen säteilyn suhteellisen määrän riippuvuus aukean alan saamasta säteilystä eri koealoilla. Havaintokaudet 1971—73.

Figure 5. Relationship between the relative daily radiation recorded under the forest canopies of the plots and the radiation recorded in the open. Recording periods 1971—73.

Taulukko 4. Keskimääräinen päivittäinen säteily eri koealojen latvuskatoksen alla aukean alan saaman säteilyn mukaan ryhmitettynä.

Table 4. Mean daily radiation below the canopy in the trial plots grouped according to radiation recorded in the open area plot.

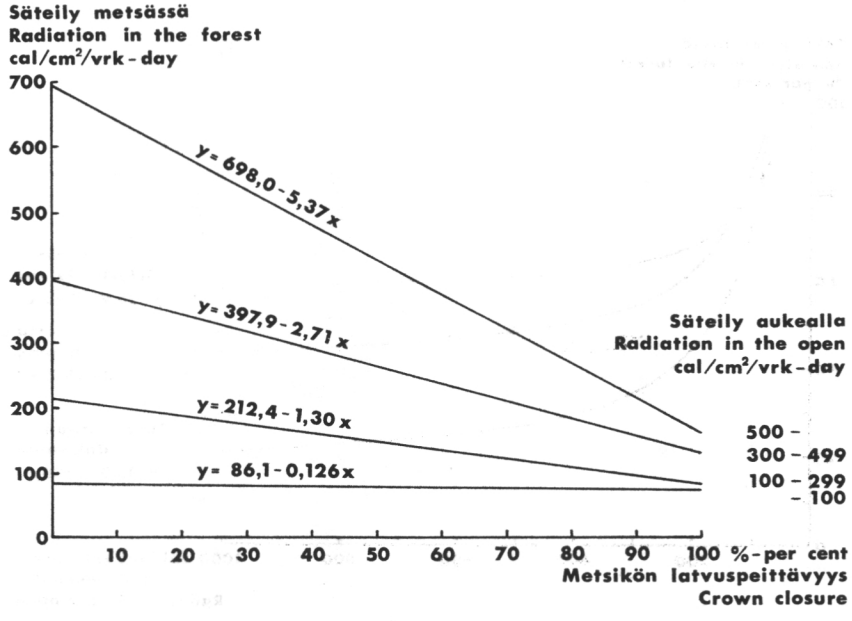
Säteily aukealla *Radiation in the open* cal/cm²/vrk *cal/cm²/day*	Luonnontilainen koeala *Untreated*		Harvennettu koeala *Thinned from below*		Harsittu koeala *Selectively cut*		Aukea, keskim. *Open, average*	
	cal/cm²/vrk *cal/cm²/day*	% aukeasta *per cent of open*	cal/cm²/vrk *cal/cm²/day*	% aukeasta *per cent of open*	cal/cm²/vrk *cal/cm²/day*	% aukeasta *per cent of open*	cal/cm²/vrk *cal/cm²/day*	% aukeasta *per cent of open*
> 500	159.8	23.6	217.9	39.8	410.6	59.6	694.0	100.0
499—300 ...	124.2	31.7	184.2	46.5	252.9	63.9	395.4	100.0
299—100 ...	85.3	42.7	109.3	53.5	135.5	64.1	214.4	100.0
< 100	77.4	84.1	79.2	91.8	72.0	90.3	86.2	100.0

— 300—500 cal/cm²; taivas pilvetön osan päivää, ohutta yläpilveä, sää verrattain aurinkoinen,

— 100—300 cal/cm²; taivas pilvinen suuren osan päivästä, ja

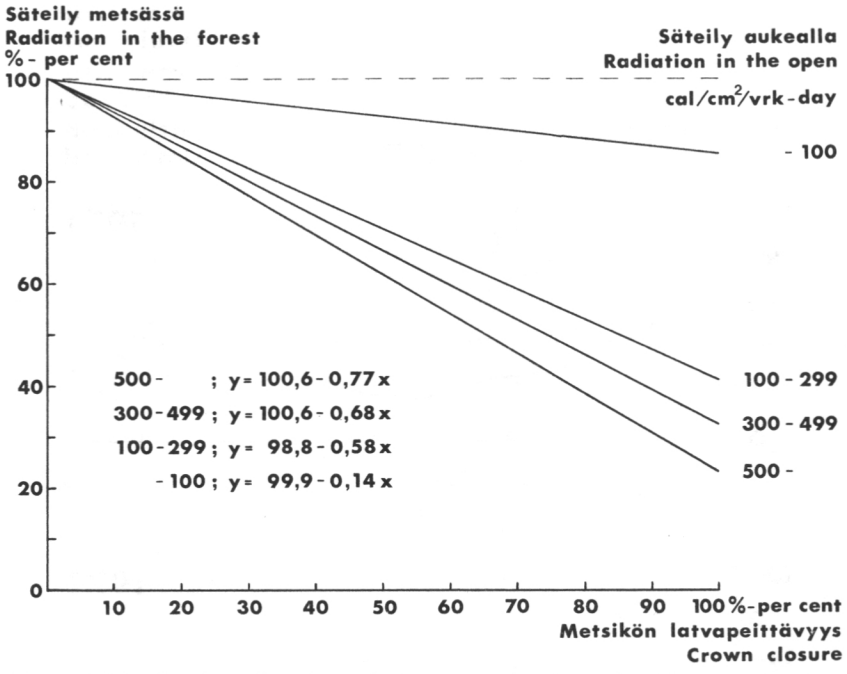
— alle 100 cal/cm²; taivas pilvinen koko päivän, sateinen tai sumuinen sää.

Eri koealojen latvuskatoksen alle saapunut säteily on esitetty taulukossa 4 koko havaintokauden 1971—1973 keskimääränä. Edellämainittujen luokkien puitteissa määritettiin latvuspeittävyydeltään erilaisten metsiköiden vaikutus eri vahvuisen päivittäisen säteilyn voimakkuuteen sekä absoluuttisina (kuva 6) että suhteellisina arvoina



Kuva 6. Metsikön latvuskerroksen alle langenneen säteilyn määrän riippuvuus metsikön latvuspeittävyydestä. Havaintokaudet 1971—73 aukean alan saaman säteilyn mukaan luokiteltuna.

Figure 6. Relationship between the radiation flux recorded under the tree canopy, and crown closure. Recording periods 1971—73, classified by radiation sum classes.

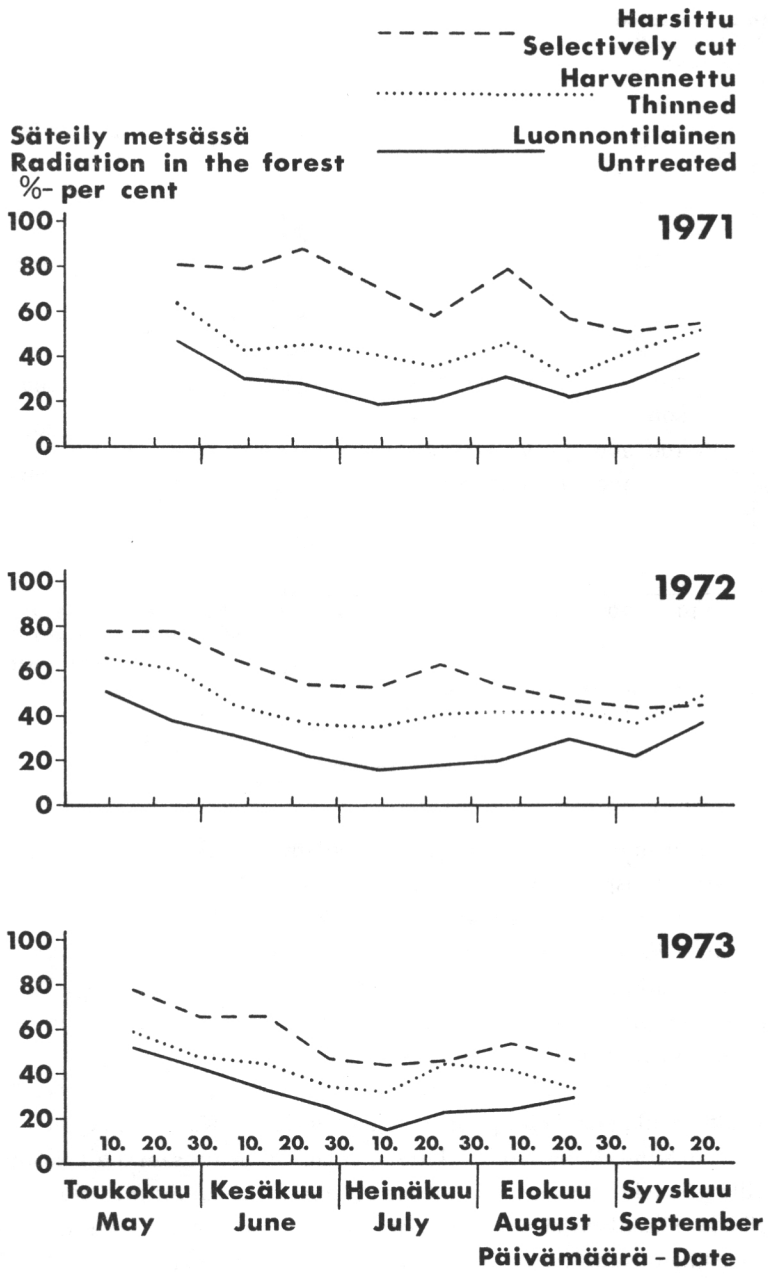


Kuva 7. Metsikön latvuskerroksen alle langenneen säteilyn suhteellisen määrän riippuvuus metsikön latvuspeittävyydestä. Havaintokaudet 1971—73 aukean alan saaman säteilyn mukaan luokiteltuna.

Figure 7. Relationship between the relative radiation sums recorded under the tree canopy, and crown closure. Recording periods 1971—73, classified by radiation sum classes.

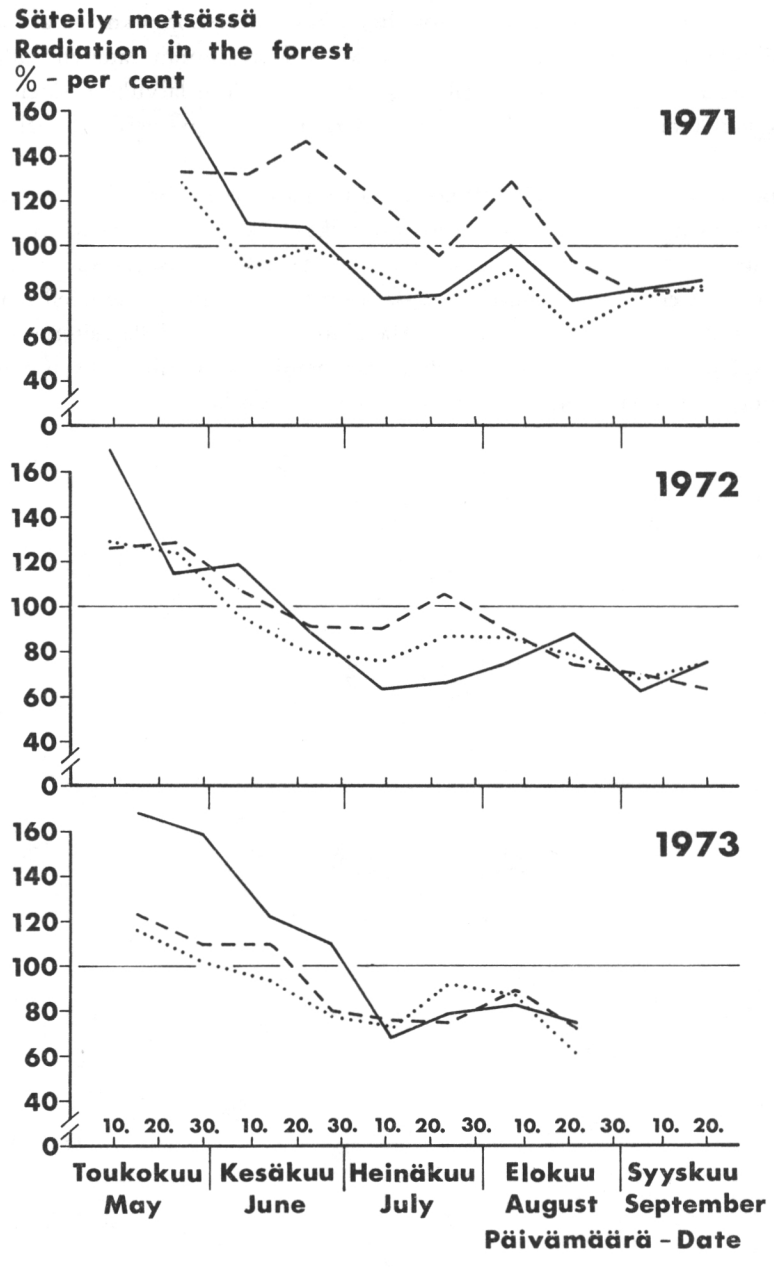
(kuva 7). Tämän mukaan metsikön säteilyä pidättävä vaikutus kasvaa likimain suorassa suhteessa latvuspeittävyyden lisääntymiseen. Vaikutus oli selvintä, kun aukean alan saama säteily oli määrältään runsasta, ts. kun sää oli aurinkoista ja kaunista, ja se pieneni päivittäisen säteilyn heiketessä, kunnes pilvisellä ja sateisella säällä metsikön latvuskatoksen vaikutusta ei juuri voitu havaita.

Kuvassa 8 on esitetty latvuksen alle tunkeutuvan säteilyn määrän vaihtelu eri koealoilla kasvukauden aikana. Säteilyn kuvaajat on laskettu kymmenen perättäisen havaintopäivän mittaustulosten keskiarvojen perusteella, ja jakson keskipäiväksi on otettu ao. jakson alkamis- ja loppumispäivien keskiarvo. Kaikkina kolmena havaintovuonna säteilyn suhteellinen voimakkuus noudatti likimain samaa aikakohtaista mallia. Keväällä kun lehdet eivät vielä olleet puhjenneet, latvukset pidättivät vain pienen osan säteilystä. Keskikesällä säteilyn määrä oli pienimmillään, mutta loppukesällä säteilyn suhteellinen osuus koealoilla lisääntyi jälleen jonkin verran (vrt. A n d e r s o n 1964 b, N ä g e l i 1940). Vaihtelu selittyy luontevimmin tarkastelemalla kahta ilmiötä, puiden lehtimäärän vaihtelua sekä auringon päivittäistä säteilymäärää. Keväällä kun puiden lehdet puhkeavat ja kasvavat, latvusten säteilyä pidättävä ja suodattava voima kasvaa jatkuvasti. Tätä vastaan vaikuttaa kuitenkin auringon korkeuskulman kasvu keskikesää kohden, jolloin säteilyn läpäistävänä oleva latvuskerros



Kuva 8. Metsikön latvuskerroksen alle langenneen säteilyn vaihtelu havaintokausien 1971—73 aikana. 10 vrk:n keskiarvot.

Figure 8. Variation of the relative radiation sums recorded under the tree canopy in the years 1971—73. Ten days averages.



Kuva 9. Metsikön latvuskerroksen alle langenneen säteilyn suhteellinen vaihtelu havaintokausien 1971—73 aikana. 10 vrk:n keskiarvot. Merkinnät kuten kuvassa 8.

Figure 9. Relative variation of the relative radiation sums recorded under tree canopy in the years 1971—73. Ten days averages. Ledgend as in Fig. 8.

ohentuu jatkuvasti suoran säteilyn tulokulman kasvaessa. Loppukesällä auringon säteilyn päivittäiset määrät pienenevät (mm. kuva 3) ja suoran säteilyn suhteellinen osuus kokonaissäteilystä vähenee (R o s s i 1976). Tällöin latvuksen säteilyä estävä vaikutus heikkenee, vaikka lehtimassan määrä ja laatu pysyisivät ennallaan (vrt. M o l t š a n o v 1971).

Jaksoittain lasketut säteilyhavainnot kerrottiin ao. koealoilta mitatuilla keskimääräisillä säteilyn määrillä (kuva 6). Tulos on kaikkien kolmen havaintovuoden osalta esitetty kuvassa 9. Keväällä ja alkukesällä puuston alla vallitsevat suotuisat säteilyolot korostuvat entisestään, mutta kuvassa 8 ilmennyttä säteilyn suhteellisen määrän nousua loppukesällä ei nyt voi havaita. Havainto vahvistaa edellä esitetyn johtopäätöksen, että päivittäisen kokonaissäteilyn väheneminen aukealla syksyn tullessa on aiheuttanut säteilyn suhteellisen voimakkuuden nousun koealoilla.

4. TULOSTEN TARKASTELUA

Metsikön latvuskerroksen kyky pidättää auringon säteilyä riippuu suuresti paitsi metsikön tiheydestä, myös puiden latvusten muodosta, puulajista ja vuodenajasta (Nägeli 1940, Geiger 1965, Mitscherlich 1971). Mitä pitempiä puiden latvukset ovat sitä voimakkaampaa on metsikön säteilynpidätyskyky. Tämä ominaisuus, jota mm. Kauttu (1952) Baumgartner (1952) ja Mitscherlich ym. (1967) ovat tarkastelleet perusteellisesti, tarjoaa erään selityksen siihen, miksi havumetsissä säteilyn voimakkuus on melkein aina vähäisempi kuin vastaavan latvuspeittävyyden omaavissa lehtimetsissä (esim. Sirén 1955, Schomaker 1967). Säteilyn kokonaismäärän pidätyksen lisäksi erittäin tärkeä latvuksen ominaisuus on sen lehvistön säteilyä suodattava vaikutus, mikä taas on riippuvainen mm. puulajista, latvuksen muodosta ja rakenteesta (Coombe 1957, Federer ja Tanner 1966, ym.). Myös lehtien ikä vaikuttaa latvuksen alle suodattuvan säteilyn aallonpituuteen. Alkukesällä lehtien ollessa nuoria ne läpäisevät eniten spektrin keltaisia ja vihreitä säteitä, mutta mitä pitemmälle kesä kuluu sitä pitkäaaltoisemmaksi muuttuu latvuksen alle lankeava säteily (mm. Reifsnyder 1967).

Tältä kannalta katsoen on tietenkin ratkaisevaa tuntea, miten metsikön latvuskatoksen alle tunkeutuvan säteilyn voimakkuus muuttuu erityisesti aallonpituuksilla 350—500 nm sekä 620—680 nm; tällä alueellahan sijaitsevat klorofyllin absorptiospektrin valoa voimakkaimmin hyväkseen käyttävät osat (mm. Hall ja Rao 1972). Tutkimuksessa ei kuitenkaan ollut mahdollista kajota lähemmin tähän yksityiskohtaan.

Aukea ala vastaanotti säteilyä havaintokauden aikana (joka käsitti kaikki ne kuukaudet, jolloin pääasiallisin yhteyttämistoiminta tapahtuu) keskimäärin 445 cal/cm²/vrk, harsitun koealan puusto päästi lävitseen 272 cal, harvennettu koeala 192 cal ja luonnontilainen koeala vain 124 cal. Kun nämä keskimääräiset arvot ovat vain 61, 43 ja 28 % aukean alan saamasta säteilystä, on selvää, että varsinkin luonnontilaisen verhopuuston alla kasvavien kuusen taimien fotosynteesi on kesän aikana ollut jo tästä syystä vähäistä. Vaikka verhopuuston alla kasvavat kuusen taimet edustavat suurimmaksi osaksi ns. varjolehtisiä puita, joiden fotosynteesin ns. kompensaatiokyky valoenergian suhteen on alhainen (esim. Pisek ja Winkler 1959, Künstle ja Mitscherlich 1975), säteilyn taso laskee varsinkin pilvisellä säällä perin vähäiseksi. Kirkkaalla ja aurinkoisella säällä (kokonaissäteily yli 500 cal/cm²) valoener-

gian määrä tosin nousi aukealla niin suureksi, että siellä kasvavien kuusen taimien valolehdet eivät ole voineet käyttää tästä kuin määräosan (esim. Stålfelt 1924, Hari ym. 1974).

Kun painotetaan taulukossa 4 esitettyjen säteilytuloksien keskiarvot havaintopäivien luvulla, on eri koealoille langennut yhteensä seuraavat määrät säteilyenergiaa:

	cal/cm²
Aukea ala	123 317
Harsittu koeala	75 434
Harvennettu koeala	53 207
Luonnontilainen koeala	34 573

Fotosynteesimittausten perusteella voidaan päätellä, että kuusen taimien varjoneulaset eivät voi käyttää yhteyttämisessä määrältään yli 300 cal/cm²/vrk ja valoneulaset 500 cal/cm²/vrk vahvuista auringonvaloa, vaan että tämän ylittävä osa jää käyttämättä (esim. Stålfelt 1924, Hall ja Rao 1972). Lisäksi tiedetään, että valolehtien kompensaatiokynnys vastaa noin 200 cal ja varjolehtien 100 cal päivittäistä kokonaissäteilyä (vrt. Turner ja Tranquillini 1961). Tällä tavoin saadaan karkeana arviona eri koealoilla yhteyttämiseen käytettävissä olevat säteilyenergiamäärät seuraaviksi:

	cal/cm²	%
Aukea ala	102 332	100.0
Harsittu koeala	74 786	73.1
Harvennettu koeala	52 494	51.3
Luonnontilainen koeala	27 052	26.4

Nämä suhteet eivät tietenkään suoraan kuvaa taimien kasvua erilaisen metsikön alla, vaan yksinomaan sellaisia säteilyoloja, jotka eri tiheysastetta edustavat verhometsät luovat taimistolle puuston ollessa lehdessä. On luonnollista, että vain suorat fotosynteesin ja kasvun mittaukset antavat todellisen, luotettavan kuvan taimien menestymisestä erilaisten verhopuustojen alla. Tällöin mm. ilman lämpöolojen ja kuivuuden mukanaan tuomat fotosynteesin vaihtelut voidaan ottaa huomioon oikeassa suhteessa. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota tilanteeseen, joka syntyy keväällä, kun verhometsän muodostamat puut eivät ole vielä lehdessä, mutta sen alla kasvavat havupuun taimet jo yhteyttävät voimakkaasti. Yleensäkin täystiheissä lehtipuumetsiköissä suuri osa vuoden aikana latvuskatoksen alle lankeavasta säteilystä koostuu kevättalvella ja alkukeväällä vallitsevina aurinkoisina ja kirkkaina päivinä (mm. Sirén 1955, Anderson 1964 b ja Moltšanov 1971). Tämä piirre asettaakin lehtipuuston alla kasvavan havupuun taimiston aivan eri asemaan kuin täystiheän havupuuston alle syntyneen saman puulajin taimiston.

Kysymykseen taimien menestymisestä verhopuuston alla palataan yksityiskohtaisemmin suunnitellun julkaisusarjan kolmannessa osassa.

5. TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tarkoituksena on ollut kartoittaa eri tiheysastetta edustavien verhopuulepikoiden latvuskerroksen alla vallitsevia säteilyoloja. Tutkimusalue sijaitsi Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen kokeilualueessa. Laajaan harmaalepikkoon erotettiin neljä koealaa, joista kolme hakattiin v. 1970 seuraavasti: — täysin aukeaksi, — määrämittaan harsien, ja — kaavamaisesti alaharventaen. Neljäs koeala jätettiin luonnontilaiseksi.

Koealoilla mitattiin auringon säteilyä Ilmatieteen laitoksen valmistamilla Bellani-pyranometreillä kesäkausien 1971—1973 ajan. Säteilymittareita siirrettiin kullakin koealalla neljässä mittauspisteessä aina kymmenen päivän väliajoin. Yhteensä havaintopäiviä oli 277.

Tutkimuksen päätulokset olivat seuraavat:

1. Luonnontilaisen koealan latvuskatoksen alla säteilyn määrä oli vähäisintä, ja sitten seurasivat järjestyksessä alaharvennettu ja harsittu koeala.

2. Metsikön suhteellisen säteilyn voimakkuuden riippuvuus aukean alan saamasta säteilystä oli kiintein luonnontilaisella ja heikoin harsitulla alalla.

3. Kun aukean alan saama säteily oli vähäistä, metsikön latvuskatos pidätti suhteellisesti pienemmän osan tästä kuin milloin aukean alan säteily oli määrältään runsasta.

4. Metsikön säteilyä pidättävä vaikutus kasvoi likimain suorassa suhteessa latvuspeittävyyden lisääntymiseen. Vaikutus oli selvintä, kun aukean alan saama säteily oli määrältään runsasta, mutta heikkeni säteilyn määrän pienetessä, kunnes pilvisellä ja sateisella säällä latvuspeittävyyden muutoksen vaikutusta ei enää voitu havaita.

Tutkimustuloksia on tarkasteltu ennen kaikkea verhopuuston alle syntyneen taimiston menestymistä silmälläpitäen. Tarkastelussa kiinnitettiin huomiota mm. latvuskatoksen säteilyä suodattavaan vaikutukseen sekä lehtipuiden säteilyä pidättävien ominaisuuksien muutoksiin vuodenaikojen mukaan.

6. KIRJALLISUUS

Aleksejev, V. A. 1963. (Valaistuksen mittaamisesta metsiköissä). Summary: Light measurements under a forest canopy. Fisiol. Rastenii 10 (2): 244—247. (Alkup. venäjänk.).

Alho, P. 1972. Pohjois-Pohjanmaan metsien tuotantobiologiset edellytykset. Summary: Qualifications of the North Ostrobothnian forests from the viewpoint of production biology. Nordia, tiedonant. 1972 (2).

Anderson, M. C. 1964 a. Light relations of terrestrial plant communities and their measurement. Biol. Rev. 39: 425—486.

» 1964 b. Studies of the woodland light climate II. Seasonal variation in the light climate. Journ. Ecology 52: 643—663.

Bainbridge, R., G. C. Evans & O. Rackman. 1966. Light as an Ecological Factor. A Symposium of The British Ecological Society, Cambridge, 30th March — 1st April 1965. Oxford, 452 s.

Baumgartner, A. 1952. Die Stralungsbilanz in einer Fichtendickung. Forstw. Cbl. 71: 337—349.

Berényi, D. 1967. Mikroklimatologie. Mikroklima der bodennahen Atmosphäre. G. Fischer Verl., Stuttgart, 328 s.

Coombe, D. E. 1957. The spectral composition of light in the woodlands. Journ. Ecology 45: 823—830.

Courvoisier, P. & H. Wierzejewski. 1954. Das Kugelpyranometer Bellani. Beiträge zur Stralungsmessmethodik V. (Summary in English). Arch. f. Meteorol., Geophys. und Bioklimat., Ser. B 5: 413—446.

Federer, C. A. & C. B. Tanner. 1966. Spectral distribution of light in the forest. Ecology 47 (4): 555—560.

Franssila, M. 1949. Mikroilmasto-oppi, Otava, Helsinki, 257 s.

Geiger, R. 1965. The Climate near the Ground. (Käänn. 4. saksank. lait. 1961) Harvard Univ. Press., Cambr. Mass., 611 s.

Hall, P. O. & K. K. Rao. 1972. Photosynthesis. Inst. Biol., Studies in Biol. 37. Edw. Arnold Ltd., London, 67 s.

Hari, P. & O. Luukkanen. 1974. Field studies of photosynthesis as effected by water stress, temperature and light in birch. Physiol. Plant. 32: 97—102.

—»— R. Salminen, P. Pelkonen, M. Huhtamaa & V. Pohjonen. 1976. A new approach for measuring light inside the canopy in photosynthesis studies. Seloste: Uusi maastokelpoinen valonmittausmenetelmä yhteyttämistutkimuksia varten. Silva Fennica 10: 94—102.

Kauttu, K. 1952. Havaintoja valaistuksen, ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaihteluista eräässä kuusikossa. Refer.: Beobachtungen über Schwankungen von Belichtung, Lufttemperatur und relativer Feuchtigkeit in einem Fichtenbestand. Commun. Inst. For. Fenn. 40.31.

Kramer, P. J. & W. S. Clarck. 1947. A comparison of photosynthesis in individual pine needles and entire seedlings at various light intensities. Plant Physiol. 22: 51—57.

Kujala, V. 1924. Laskelmia lehtipuiden lehtikauden pituudesta ja puiden kukkimisajoista Suomessa. Refer.: Berechnungen über die Länge der Laubperiode der Laubbäume und Blühzeiten der Bäume in Finnland. Commun. Inst. For. Fenn. 7.2.

Künstle, E. & G. Mitscherlich. 1975. Photosynthese, Transpiration und Atmung in einem Mischbestand im Schwarzwald. I. Photosynthese. Allgem. Forst- u. Jagtz. 143: 45—63.

Leikola, M. 1969. The influence of environmental factors on the diameter growth of forest trees. Auxanometric study. Acta Forest. Fenn. 92.

Mac Hattie, L. B. 1961. Bellani radiation integrator. Forestry Chron. 37: 315—317.

Mitscherlich, G., W. Moll, E. Künstle & P. Maurer. 1965. Ertragskundlich-ökologische Untersuchungen im Rein- und Mischbestand. 2. Wind, Globalstralung und Bestandshelligkeit. Summary: Yield and Ecology. Investigations in pure and mixed stands. 2. Wind, total radiation and light within the stand. Allg. Forst- u. Jagtz. 136: 249—257.

—»— E. Künstle & W. Lang. 1967. Ein Beitrag zur Frage der Beleuchtungsstärke im Bestande. Summary: A contribution to the problem of light intensity in stands. Allg. Forst- u. Jagtz. 138: 213—223.

Mitscherlich, G. 1971. Wald, Wachstum und Umwelt 2. Waldklima und Wasserhaushalt. J. D. Sauerländers Verl., Frankfurt a.M., 365 s.

Moltšanov, A. G. 1971. (Koivikoiden ja kuusikoiden säteilytalous suhteessa niiden fenologiseen tilaan). Summary: The radiation regime of birch and spruce stands in relation to their phenological stage. Lesovednie 1971 (2): 31—37. (Alkup. venäjänk.).

Mörikofer, W. 1940. Meteorologische Stralungsmessmetoden für biologische und ökologische Untersuchungen. Ber. Geobot. Forsch. inst. Rübel, Zürich, 1939: 13—74.

Nägeli, W. 1940. Lichtmessungen im Freiland und in geslossenen Altholzbeständen. Mitt. Schw. Anst. forst. Versuchsw. 21: 250—306.

Odin, H. & K. Perttu. 1966. Strålningsmätningar nära skogsgränsen. Summary: Radiation measurements near the forest limit in northern Sweden. Skogshögskolan, Inst. Skogsföryngr., Rapp. Upps. 7.

Peltoniemi, A. & H. Ravela. 1965. Valaistusmittauksia eräissä metsiköissä. Konekirjoite Helsingin yliop. metsänhoitot. lait. 40 s.

Perttu, K. 1970. Radiation measurements above and in forest. Stud. For. Suec. 72.

Pisek, A. & E. Winkler. 1959. Licht- und Temperaturabhängigkeit der CO_2-Assimilation von Fichte (*Picea exelsa* Link.), Zirbe (*Pinus Cembra* L.) und Sonnenblume (*Heliantus annuus* L.). Planta 53: 532—550.

Raulo, J. 1973. Auringon säteilyn määrä eri tiheysastetta edustavissa rauduskoivikoissa Enossa. Käsikirjoitus Metsäntutkimuslaitoksessa.

Reifsnyder, W. 1967. Forest meteorology: the forest energy balance. Intern. Rev. For. Res. 2: 127—179.

Richardson, S. D. 1959. The use of a spherical radiation meter in woodlands. Forestry 32: 126—137.

Rossi, V. 1951. Yksinkertainen säteilynmittari meteorologisia ja biologisia tutkimuksia varten. Summary: A simple radiometer for meteorological and biological investigations. Terra 63: 54—57.

—»— 1976. Auringon säteilyn mittauksien tuloksia Suomessa 1958 . . . 1967. Results of radiation measurements in Finland during the years 1958 . . . 1967. Liite Suomen meteorol. vuosik. 69—70, 4. Suppl. Meteor. yearbook 69—70, 4.

Sarvas, R. 1953. Measurement of the crown closure of a stand. Seloste: Puuston latvusyhteyden mittaaminen. Commun. Inst. For. Fenn. 41.6.

Schomaker, C. E. 1968. Solar radiation measurements under a spruce and a birch canopy during May and June. Forest Sci. 14: 31—38.

Sirén, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Lyhennelmä: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta Forest. Fenn. 62.4.

Stålfelt, M. G. 1924. Tallens och granens kolsyreassimilation och dess ekologiska betingelser. Zusammenf.: Untersuchungen zur Ökologie der Kohlensäureassimilation der Nadelbäume. Medd. Statens Skogsförs. anst. 21: 181—258.

Säteily- ja auringonpaistehavainnot 1963—1964. 1968. Suomen meteorol. vuosikirja 63—64 (4). Julk.: Ilmat. laitos, Helsinki. Meteorol. yearbook of Finland 63—64 (4). Publ. by Finnish Meteorol. Inst., Helsinki.

Turner, H. & W. Tranquillini. 1961. Die Stralungsverhältnisse und ihr Einfluss auf die Photosynthese der Pflanzen. Mitt. Forstl. Bundes-Versuchsanst. Mariabrunn 59: 70—103.

Vaartaja, O. 1951. Alikasvosasemasta vapautettujen männyn taimistojen toipumisesta ja merkityksestä metsänhoidossa. Summary: On the recovery of released pine advance growth and its silvicultural importance. Acta Forest. Fenn. 58.3.

Valmari, A. 1974. Lapin säteilyolot kasvintuotannon kannalta. Summary: Radiation conditions in Lapland on an agricultural viewpoint. Lapin ilmastokirja — Climate of Lapland: 33—46, Rovaniemi.

Vézina, P.-E. 1965. Solar radiation available below thinned and unthinned Balsam fir canopies. Canad. Dep. For., For. Res. Br., Publ. 1105.

—»— & G. Péch. 1964. Solar radiation beneath conifer canopies in relation to crown closure. Forest Sci. 10: 443—450.

Yli-Vakkuri, P. 1961. Kokeellisia tutkimuksia taimien syntymisestä ja ensi kehityksestä kuusikoissa ja männiköissä. Summary: Experimental studies on the emergence and initial development of tree seedlings in spruce and pine stands. Acta Forest. Fenn. 75.1.

7. SUMMARY

Introduction. The meeting of research workers of the Department of Silviculture, the Finnish Forest Research Institute concluded in September 1969 that the problems connected with the use of nurse tree (shelter) crops were among the most basic ecological problems in silviculture. Although nurse crops are rather commonly used in Finland to protect young plantations from climatic and other hazards, Finnish research results are available only for their significance in frost protection. Trials designed to provide answers in this field were therefore started in the Suonenjoki Experimental Forest District in the fall 1970, and the ecological measurements were continued to the end of 1973.

Studies in the effects of nurse stands were classified into three main categories: — effect of nurse stands on radiation in the forests, — effect of nurse trees on the temperature conditions of a forest stand, and — root competition on part of the nurse trees. Other problems concerning e.g. snow and frost conditions, stand moisture and the nutrient economy in relation to the nurse stand received less attention at Suonenjoki.

This report concentrates on examining growing-season radiation beneath the canopy of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) nurse stands of various densities. The report takes a mainly silvicultural point of view without detailed micrometeorological analysis. Comprehensive reviews of stand radiation have been published in textbooks in micrometeorology (e.g. Geiger 1966, Mitscherlich 1971) and in special studies in this field.

Material and methods. The grey alder stand selected for the study was at the Suonenjoki Experimental Forest District of the Finnish Forest Research Institute (62°41'N, 26°57'E, 102 m a.s.l.). The area used to be pasture, but it had grown a dense tree cover following natural regeneration.

Four trial plots were demarked in the alder stand in the fall 1970. The tree stands in the plots were treated in the following way: the first plot was clearcut so that the open area reached a field adjacent to the stand; the second plot was thinned categorically from underneath; all merchantable stems reaching specified dimensions were selected and cut from the third plot; the fourth plot was left untreated. The clearcut plot was 50 × 80 m, the thinned and selectively cut plots 50 × 50 m, and the untreated plot 50 × 30 m in size. Each plot was surrounded by a buffer strip which was at least 10 m wide; the buffer strip surrounding the untreated plot was ca. 40 m wide.

Table 1 shows the values of the most important stand parameters for the plots. Special attention was given to the stand canopy. In summer 1971, all plots with trees were mapped, and the crown profile of each tree exceeding 1.3 m in height was drawn on a crown map (Fig. 1). The crown form of the trees was depicted with the aid of four measurements (10 cm precision) at right angles from the tree stem. Crown coverage of the stands was determined simultaneously using a Cajanus tube, on the basis of 200 determinations per plot (see e.g. S a r v a s 1953). Solar radiation was measured using a Bellani pyranometer, which has been found to be dependable and easy to use in forest ecological studies. Pyranometers (solarimeters) made by the Finnish Meteorological Institute were used in the study. These differ slightly from the most commonly used model made by the Davois observatory: the main difference from the point of view of stand ecological measurements probably is using a level horizontal receiver surface almost regularly instead of a round receiver sphere (Fig. 2).

Two-meter high measurement poles were set up on each plot for attaching the solarimeters. One pole was set up in the clearcut plot, and four in each of the plots with tree cover; the latter were placed systematically about five meters from each edge of the sample plots (Fig. 1). One solarimeter was used on each plot.

In order to increase the representativeness of the measurements in the stands, the meters were exchanged among sites regularly every ten days. The daily radiation averages for each measurement site are shown in table 2. Analysis of variance among the measurements for each site showed that there was a statistically significant difference between measurement site No. 4 and the others in the untreated stand. The differences among the other measurement sites within the plots were not statistically significant.

The spatial variation of the radiation coming through the canopy has always been one of the major sources of inaccuracy in the measurement of radiation in forest stands. Especially where the canopy is sparse, the variations are very pronounced as bright sunlight spots move during the course of the day and change quickly into shaded areas (e.g. P e r t t u 1970). In the trial plots measured for this study, however, radiation variations were of the same order despite differences in crown cover: the mean variation coefficient in the untreated plot was 50 per cent, in the thinned plot, 49 per cent and in the selectively cut plot 55 per cent.

Variation in the measurement data from the different recording sites of a trial plot is due to two factors: different radiation conditions at each recording site, and variations in the quantity of solar radiation among ten-day measurement periods. In order to separate these two effects, daily values of the ten-day moving average radiation data were computed for the clearcut plot (Fig. 3). Even though a general trend of weakening towards autumn is clearly discernible, it is not possible to see ten-day periodicity corresponding to the regular changing of measurement sites. Therefore we can regard the variation among measuring sites in each trial plot as differences in radiation at these sites.

The possible error introduced to the individual daily radiation values by the variation described was corrected by using correction factors. These factors were calculated from the mean deviation of the values for each measuring site from the plot means for each year. The resulting annual corrected radiation data series for each plot were used as the basic data in subsequent analysis.

The annual recording periods were as follows:

Year	*Recording started*	*Recording ended*
1971	17.5.	30.9.
1972	3.5.	29.9.
1973	9.5.	28.9.

According to ocular phenological observations, the measuring periods covered the time during which the trees of the trial plots were in leaf.

The daily radiation measurements of the clearcut plot were compared to radiation measurements carried out in the same period at the closest meteorological station, the Jyväskylä Luonetjärvi airport (62°25'N, 24°55'E, 141 m a.s.l.). The Luonetjärvi radiation records were made using a Moll-Gorczynski pyranometer (R o s s i 1976). The two series of observations were linearly correlated ($y = 165.12 + 0.601\ x$; y = daily radiation at Luonetjärvi, cal/cm²; x= daily radiation on the Suonenjoki clearcut trial plot, cal/cm²) with a correlation coefficient of + 0.72*** (n = 277).

Table 3 shows long-term (1958—1975) Luonetjärvi monthly radiation sums in relation to these sums for the measurement period. The comparison indicates that especially July, and in 1971 and 1972 also May and September were sunnier than average. Each year of measurement and the mean monthly averages for the entire measuring period represented higher radiation than the long-term average. Thus the research results generally represent conditions prevailing during a period which is sunnier and receives more radiation than the average.

Results. Figure 4 provides a comparison among the radiation climates of the open and the tree-covered variously treated plots. The untreated plot naturally received least radiation, followed by the thinned and the selectively cut trial plot. The best fit for least-squares relationships between sets of radiation data was provided by the logarithmic function shown in the figure, with the following correlation coefficients:

	r
Clearcut and selectively cut trial plots ...	0.89***
Clearcut and thinned trial plots	0.85***
Clearcut and untreated trial plots	0.62***

Figure 5 shows graphically the relationships among the relative radiation intensities corresponding to figure 4. Among several alternatives, the best fit was obtained

for the reciprocat function of x. The correlation coefficients for the radiation intensities of the trial plots were as follows:

	r
Clearcut and selectively cut trial plots ...	0.32
Clearcut and thinned trial plots	0.66***
Clearcut and untreated trial plots	0.76***

As can be determined from the correlation coefficients, radiation in the clearcut plot was closest related to that in the untreated and least closely to radiation in the selectively cut plot. It was common to all trial plots, however, that when radiation was low in the open, i.e. when the sky was clouded, the crowns of the trees in the stand had let through a greater part of the radiation than in clear and sunny weather with a high daily radiation flux.

The penetration of the canopy of stands with different densities by radiation of different intensities was further studied by dividing the data into four categories according to daily radiation flux.

Table 4 shows radiation penetrating the canopy in the trial plots as averages for the entire 1971—1973 recording period. Within the four categories, the effects of differences in tree crown cover on the absolute (Fig. 6) and relative (Fig. 7) daily radiation fluxes. The results show that the absorption of radiation by the canopy is practically directly proportional to the increase in crown cover. The relationship was most consistent at high radiation fluxes in the open plot, i.e. in sunny and fair weather; it decreased as the daily flux diminished until the effect of the canopy was hardly discernible in cloudy and rainy weather.

Discussion. The capacity of the forest canopy to absorb solar radiation is closely related to stand density, crown form, tree species, and the time of the year.

The radiation absorption capacity of the stand is naturally increased by increased crown length. This fact, studied extensively by e.g. Kauttu (1952) and Mitscherlich *et al.* (1967), offers an explanation for the practically always smaller amount of radiation under conifers than hardwood stands with equal crown cover (e.g. Sirén 1955, Schomaker 1967).

The absorption of radiation is different at different wavelengths. The age of the foliage contributes to the spectral changes in light as it passes through the crowns. The young leaves in the early part of the summer let through mostly yellow and green radiation, but later in the summer the radiation flux under the canopy is composed of increasingly longer wavelengths.

It would therefore have been important to determine the changes in the radiation penetrating the canopy especially at the wavelengths 350—500 nm and 620—680 nm, which are represent the light most utilized by chlorophyll in the absorption spectrum (e.g. Hall and Rao 1972). This aspect could not, however, be studied in more detail in the present project.

The open trial plot received radiation during the recording period (comprising the months during which photosynthesis mainly takes place) at an average rate of 445 cal/cm²/day, the selectively cut trial plot below the canopy 272 cal, the thinned plot 192 cal and the untreated one only 124 cal/cm²/day. Since these mean values are only 61, 43 and 23 per cent of the radiation received by the open area, photosynthesis in spruce plants growing especially under the untreated nurse stand has been small during the summer. This is true even though the spruce plants growing under the nurse trees represent so-called shade-leaved trees with a low compensation capacity for photosynthesis in relation to light energy (e.g. Pisek and Winkler 1959, Künstle and Mitscherlich 1975). Especially in sunny weather, the radiation flux is decreased (total radiation over 500 cal/cm²/day). The visible radiation flux in the open was, however, so high that the light-demanding foliage of spruce plants in that area were probably not able to utilize more than a part of this (e.g. Stålfelt 1924, Hari *et al.* 1974).

LANNOITUSTASAISUUS LENTO-LANNOITUKSESSA

JAAKKO VIRTANEN

SUMMARY

Spreading Evenness in Aerial Fertilization

HELSINKI 1976

ISBN 951-40-0246-6
ISSN 0026-1610

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Koneellisen lannoitteenlevityksen yleistyessä on lannoitustasaisuus ja sen vaikutus puuston kasvuun noussut yhä suuremman mielenkiinnon kohteeksi.

Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston, Metsähallituksen ja Kemira Oy:n yhteistyönä v. 1973 aloitetun tutkimusprojektin nyt valmistuneessa toisessa osassa selvitetään lentolannoituksessa eri levitintyypeillä saavutettavaa lannoitustasaisuutta.

Joustava yhteistyö projektin osakkaiden sekä levityskokeissa mukana olleiden urakoitsijoiden kesken on mahdollistanut nopean ja tehokkaan tavoitetutkimuksen suorittamisen.

Käsikirjoitukseen ovat tutustuneet professori Kalle Putkisto, professori Olavi Huikari ja MMT Eero Paavilainen.

Haluan esittää vilpittömät kiitokseni kaikille tutkimuksen eri vaiheissa saamastani avusta.

Helsingissä, maaliskuun 31 päivänä 1976

Jaakko Virtanen

SISÄLLYSLUETTELO

1. Johdanto 5
2. Tutkimustehtävän asettaminen ja tutkimuksen tavoitteet 7
3. Lannoitteenlevitys-, näytteenotto- ja mittausmenetelmät 9
   31. Levitinlaitteet ja työmenetelmät 9
   32. Levityskokeissa käytetyt lannoitteet 13
4. Näytteenotto- ja mittausmenetelmät 16
   41. Koejärjestelyt 16
   42. Näytteiden mittaus 20
   43. Lannoitustasaisuuden määritys 21
5. Levityskaistan lannoitejakautumaan vaikuttavat tekijät 26
   51. Levitinlaite 26
      511. Jauhemaisen lannoitteen levitys 26
      512. Pienirakeisen lannoitteen levitys 29
      513. Keskisuurirakeisen lannoitteen levitys 31
      514. Suurirakeisen lannoitteen levitys 33
   52. Lentokorkeus 35
      521. Jauhemaisen lannoitteen levitys 36
      522. Pienirakeisen lannoitteen levitys 38
      523. Keskisuurirakeisen lannoitteen levitys 40
      524. Suurirakeisen lannoitteen levitys 42
   53. Lentokoneen asento 44
   54. Tuuli 47
6. Rae- ja ravinnejakautuma levityskaistalla 51
   61. Raejakautuma 51
   62. Ravinnejakautuma 56
7. Optimaalinen lannoitustasaisuus lentolannoituksessa 59
   71. Jauhemaiset lannoitteet 59
   72. Pienirakeiset lannoitteet 62
   73. Keskisuurirakeiset lannoitteet 66
   74. Suurirakeiset lannoitteet 69
8. Tulosten tarkastelu 73
   81. Tulosten tarkkuus 73
   82. Levitinlaitteen ja lannoitteen vaikutus 74
   83. Lentotekniikan ja tuulen vaikutus 76
9. Tiivistelmä 80

Kirjallisuusluettelo 82

Summary 85

Liitteet 87

Lannoitusteknisiä määritelmiä 87

Lentoteknisiä määritelmiä 88

1. JOHDANTO

Lentokone on jo perinteinen työväline maa- ja metsätaloudessa. Alkunsa toiminta sai yhdeksän vuotta lentokoneen keksimisen jälkeen vuonna 1912, jolloin Saksassa ylimetsänhoitaja Alfred Zimmermannin aloitteesta lentokonetta käytettiin metsätaloudessa tuhohyönteisten torjuntakemikaalien levitykseen (Gäbler 1965). USA:ssa ensimmäiset kokemukset lentokoneen käytössä maatalouden palveluksessa ovat vuodelta 1921 (Hicks 1971) ja Neuvostoliitossa vuodelta 1924 (Gäbler 1965).

Suomessa ensimmäiset kokemukset lentokoneen käytöstä metsätaloudessa saatiin 1954, jolloin lentokonetta käytettiin männyn siementen kylvöön uudistusaloilla (Siren 1954). Ensimmäiset lentolannoituskokeet suoritettiin vuonna 1961 (Yläne n 1961) ja vuodesta 1965 lähtien lentolannoitus on metsätalouden piirissä ollut vakiintunut työmenetelmä, jonka osuus on viime aikoina noussut jo n. 30 %:iin vuosittain levitettävistä metsälannoitteista (Heino ja Tynkkynen 1972).

Metsänlannoitustoiminta on Suomessa 1960-luvun puolivälin jälkeen muutenkin kehittynyt todella nopeasti, sillä vuonna 1965 koko maassa lannoitettiin n. 20 000 ha ja jo vuonna 1971 ylitettiin 200 000 ha:n raja (Anon 1974).

Sysäys näin nopeaan kehitykseen saatiin lannoituskokeista, jotka yleensä olivat melko pienialaisia ja mahdollisimman tasaisen lannoitteen käsinlevitykseen perustuvia vrt. Conway (1962), Davies (1969), Hagner ym. (1966). Lannoitteenlevityksen koneellistuessa levitystekniikka on yhä enemmän poikennut kokeissa käytetystä, mutta odotukset lannoituksella saatavasta kasvunlisäyksestä perustuvat edelleen käsinlannoitetuilta koeruuduilta saatuihin tuloksiin.

Lannoitustasaisuuden vaikutus puuston kasvureaktioon joutui ensimmäiseksi tarkastelun kohteeksi Ruotsissa, jossa lannoitteista huomattava osa levitettiin koneilla jo 1960-luvun puolivälissä (Gustavsson 1971 b). Hagner ym. (1966) totesivat lentolannoitusten tulosten jäävän 23—29 % heikommaksi kuin käsinlannoitetuilla vertailualueilla. Samaan ovat päätyneet Erken ja Fahlroth (1967). Myös Pohjois-Amerikassa Armson (1972) ja Strand (1972) ovat arvioineet, että lannoituksen epätasaisuuden aiheuttama kasvutappio saattaa nousta 20 %:iin. Suomessa on Metsäntutkimuslaitoksen ja Metsähallituksen toimesta perustettu 1960-luvun lopulla ja 1970-luvun alussa kenttäkokeita lannoitustasaisuuden vaikutuksen selvittämiseksi. Lähitulevaisuudessa myös näistä kokeista saadaan lisäselvitystä lannoitustasaisuuden vaikutuksesta puuston kasvuun.

Koneellisten levitysmenetelmien yleistyessä myös lannoitustekniikan tutkimustarve on lisääntynyt. Levitinlaitteiden tehon sekä lannoitustasaisuuden parantamismahdollisuuksien selvittäminen ovat nousseet tutkimustoiminnan tärkeimmiksi aiheiksi.

Lentolannoituksessa käytettävien levitinlaitteiden rakenteen vaikutusta lannoitejakautumaan ovat selvittäneet mm. Akesson ym. (1968 ja 1971), Henry (1964 ja 1966), Nelson (1963) ja Williamson ym. (1971). Vertailuja eri levitintyyppien levitystehon ja levityskaistan lannoitejakautuman suhteen ovat tehneet Gustavsson (1972), Scott (1970), Scott ja Grigg (1970) sekä Weed ja Wacker (1968). Työskentelyolosuhteiden sekä lentotekniikan vaikutusta työjälkeen ovat tutkineet Gustavsson (1972), Heymann ja Schultz (1973) sekä Rogers ja Rathburn (1964). Lannoitustasaisuuden vaihtelusta lentolannoitustyömailla ovat julkaisseet seurantatuloksia mm. Andréason (1967), Armson (1972), Ballard ja Will (1971), Hagner ym. (1966), Noer (1968), Paavilainen (1972). Myös tämän tutkimussarjan ensimmäisessä osassa tekijä (Virtanen 1975) on alustavasti selvittänyt lentolannoituksen suoritustekniikkaa ja sen vaikutusta lannoitustasaisuuteen.

2. TUTKIMUSTEHTÄVÄN ASETTAMINEN JA TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Metsänlannoitus lisääntyi Suomessa 1960-luvun loppupuolella erittäin voimakkaasti. Perinteisen käsinlevityksen rinnalle ilmestyi tällöin nopeasti useita koneellisia lannoitteen levitysmenetelmiä, joilla ihmistyötä pyrittiin korvaamaan.

Tämän tutkimussarjan ensimmäisessä osassa selvitettiin pääpiirteittäin erilaisten maassa liikkuvien levitinyksiköiden ja lentolannoituksen työtekniikkaa ja sen vaikutusta lannoitustasaisuuteen. Tutkimuksessa todettiin maassa toimivia erilaisia traktori- ja moottorikelkkavetoisia levitinlaitteita vaivaavan nykyisellään huonon maastokelpoisuuden vaikeakulkuisessa metsämaastossa. Tämä rajoitti voimakkaasti niiden käyttömahdollisuuksia ja antoi samalla hyvät lähtökohdat ilmasta tapahtuvalle lannoitteen levitykselle, jolle maaston vaikeakulkuisuus ei asettanut esteitä.

Käsillä olevassa tutkimussarjan toisessa osassa tutkimus keskittyy lentolannoituksen suoritustekniikan ja erilaisten jo käytössä olevien levitintyyppien ominaisuuksien selvittämiseen. Tarkastelun suuntaaminen lentolannoitusmenetelmään perustuu siihen, että nykyään käytettävissä olevat erikoisrakenteiset lannoituslentokoneet soveltuvat hyvin myös Suomen oloihin, ja lannoitustasaisuuden parantamiseksi voidaan keskittyä levitinlaitteiden ja työmenetelmien tutkimiseen. Maassa toimivien levitinlaitteiden kohdalla taas ensisijaisen tutkimuskohteen muodostaisi vetokoneina käytettävien laitteiden maastokelpoisuuden kehittäminen, jonka on katsottava kuuluvan lähinnä alan teollisuuden tehtäviin.

Tutkimuskohteena lentolannoitusmenetelmä metsänlannoituksessa muodostaa vielä melko kartoittamattoman ongelmakentän. Maataloudessa ulkomailla kiinteiden ja nestemäisten aineiden levityksessä saadut kokemukset eivät ole suoraan sovellettavissa metsänlannoitukseen, koska työskentelyolosuhteet eroavat huomattavasti, ja koska maataloudessa käytettävät levitinlaitteet ja työmenetelmät ovat pääosin metsänlannoitukseen soveltumattomia. Myös varsinaisesti metsien lentolannoitukseen liittyvät lukumäärältään vähäiset ulkomaiset tutkimukset ovat lähinnä yleisluontoisia selvityksiä, joissa saatuja tuloksia ei voida sinältään yleistää ja soveltaa, koska levittimet ja lannoitteet eroavat meillä käytettävistä.

Luonteeltaan tämä tutkimus on perusselvitys, jolla pyritään saamaan yleiskuva Suomessa lentolannoituksessa käytettävistä levittimistä ja lannoitteista sekä kartoittamaan lentotekniikan ja työn ulkoisten olosuhteiden vaikutusta työjälkeen.

Tutkimus rajataan kiinteäsiipisen lannoituslentokoneen levitinlaitteisiin ja työtekniikkaan, koska helikopteri ei toistaiseksi ole ollut kilpailukykyinen kiinteäsiipisen lentokoneen kanssa, eikä tähän työhön tarkoitettuja helikopteriyksikköjä vielä Suomessa ole.

Levitinlaitteiden osalta tarkastelu rajataan käytössä oleviin lentokonelevittimiin ja lannoitteiden osalta Suomessa yleisesti käytettäviin, raekooltaan toisistaan selvästi poikkeaviin lannoitetyyppeihin.

Levitinlaite- ja lannoitetutkimuksen osalta tavoitteeksi asetetaan yleiskuvan saaminen eri levitinlaitteiden levityskaistan lannoitejakautumasta raekooltaan vaihtelevia lannoitteita käytettäessä. Tutkimuksen päämääränä on tältä osin perustan luominen levitinlaitteiden kehitystyössä tarvittavalle jatkotutkimukselle, joka ongelmakentän yleiskartoituksen jälkeen on helppo suunnata osaongelmien yksityiskohtaiseen selvittämiseen.

Ulkoisten olosuhteiden vaikutusta koskeva tutkimus rajoitetaan tuulen levityskaistassa aiheuttamien muutosten selvittämiseen. Tutkimuksen päämääränä on selvittää tuulirajat, joissa jauhemaisia ja raekooltaan vaihtelevia lannoitteita on käytännössä järkevää käyttää. Tavoitteena on lisäksi selvittää lannoitteiden ajautumaherkkyyttä ja sen vaikutusta levitystyössä käytettävään lentotekniikkaan.

Lentolannoituksessa käytettävän lentotekniikan tutkimus muodostaa tämän selvityksen kolmannen pääosan. Tässä tarkastelu suunnataan lannoitustyössä käytettävään lentokorkeuteen ja koneen lentoasentoon sekä lannoitettavan alueen käsittelyssä käytettävään lentolinjaverkon tiheyteen. Koneen ilmanopeus ja lentoasu pidetään tarkastelussa muuttumattomana. Tutkimuksen tässä osassa tavoitteena on selvittää lentokorkeuden ja koneen asennon vaikutusta levityskaistan lannoitejakautumaan. Lentolinjaverkon tiheyttä koskevan tarkastelun tavoitteena on selvittää lannoitteen levityksessä tutkittavalla levitintyypillä saavutettavissa oleva optimaalinen lannoitustasaisuus.

3. LANNOITTEENLEVITYS-, NÄYTTEENOTTO- JA MITTAUSMENETELMÄT

31. Levitinlaitteet ja työmenetelmät

Lannoituslentokoneissa käytettävät levittimet voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: puhallinlevittimet, ilmavirtalevittimet ja keskipakolevittimet. Näistä puhallinlevittimet ovat vasta kehitysvaiheessa ja yleensä hienojakoisten jauhemaisten pölytteiden levitykseen suunniteltuja. Keskipako- ja ilmavirtalevittimet sen sijaan soveltuvat sekä jauhemaisten että rakeisten lannoitteiden levitykseen. Tämä tutkimus kohdistui kahteen viimeksi mainittuun levitinryhmään. Testatut levittimet olivat vakiovarusteena Suomessa metsänlannoitustöissä käytettävissä lannoituslentokoneissa.

Levityskokeissa käytetyt ilmavirtalevittimet jaetaan rakenteensa mukaan kolmeen ryhmään: auralevittimet, kanavalevittimet ja siipilevittimet. Toimintaperiaatteeltaan nämä kaikki perustuvat lentokoneen liikkeen ja potkurin aiheuttaman ilmavirran hyväksikäyttöön.

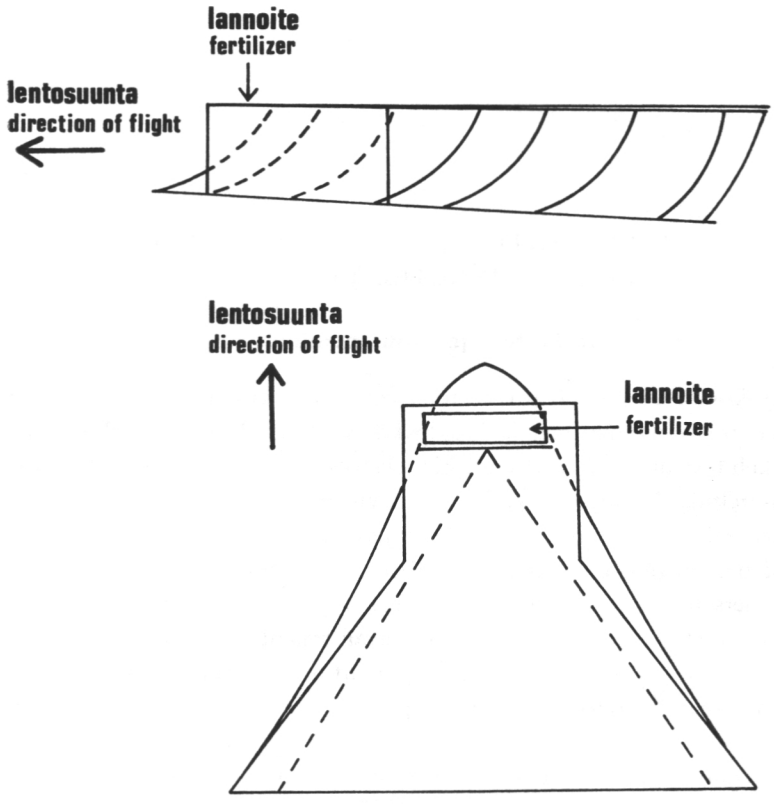
Rakenteeltaan auralevitin (kuva 1, s. 10) on yksinkertaisin, lentokoneen lannoitesäiliön alle asetettujen auran siipien antaessa säiliöstä omalla painollaan valuville lannoiterakeille sivuliikkeen ja koneen liikkeen sekä potkurivirran kiihdyttäessä rakeiden nopeutta.

Valmistusmateriaali auralevittimessä, kuten yleensä muissakin levittimissä on ruostumaton teräspelti. Levittimen aurakulma on 48°. Laitteen paino ja mitat on esitetty taulukossa 1, s. 10.

Taulukossa 1 esitetyt levittimien levitystehot (kg/s) ovat ns. käyttövarmoja arvoja (liite 1). Ko. annostuksilla levittimen toiminta on häiriötöntä ja lannoitejakautuma koneen levityskaistalla on tasainen. Auralevittimellä levitysteho on 0—14 kg/s. Suurin purkausnopeus auralevittimellä on 33 kg/s. Näin suuri purkausnopeus ei kuitenkaan sovellu normaaliin levitystyöhön, sitä tulisikin käyttää vain hätätilanteissa, joissa koneen on päästävä kuormastaan mahdollisimman nopeasti eroon.

Kanavalevittimiä valmistetaan nykyään useita eri tyyppejä (vrt. Akesson ym. 1968). Tässä tutkimuksessa kokeiltu tyyppi on Translandin 8-kanavainen suurteholevitin (kuva 2, s. 11). Levittimen paino ja päämitat on esitetty taulukossa 1, s. 10.

Kanavalevittimessä lannoite valuu koneen säiliöstä säädettävän luukkumekanismin kautta kanavistoon. Kanaviin ilmanottoaukosta ohjautuva ilmavirta kiihdyttää syöttöaukosta putoavien lannoiterakeiden nopeutta ja levittimen jättöreunaa kohti laajenevat kanavat (kuva 2, s. 11) antavat rakeille tarvittavan sivuliikkeen.

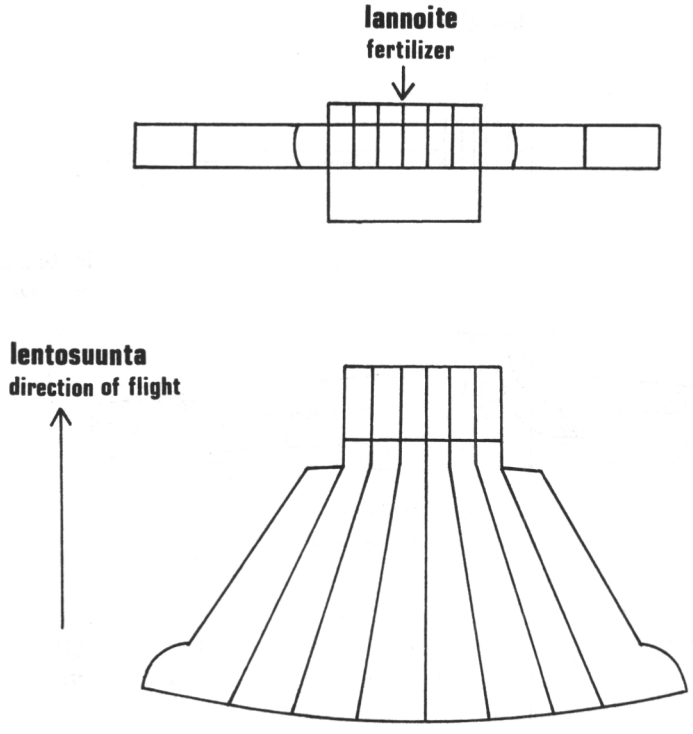


Kuva 1. Auralevitin
Figure 1. Plough spreader

Käytännössä kanavalevittimen levitysteho on 0—12 kg/s, tätä suurempien purkausnopeuksien tukkiessa levittimen nopeasti. Lannoitesäiliön pikatyhjennys on kanavalevitintä käytettäessä mahdotonta.

Taulukko 1. Levityskokeissa käytettyjen levittimien mitat, paino ja levitysteho
Table 1. Weights, dimensions and dosing ranges of the spreaders used in spreading experiments

Levitin *Spreaders*	Mitat — *Dimensions*				Levitysteho *Dosing range*
	Paino *Weight* kg	Pituus *Length* cm	Leveys *Span* cm	Korkeus *Height* cm	kg/s
Auralevitin — *Plough spreader*	27.0	102.0	120.0	22.0	0—14
Kanavalevitin — *Venturi spreader* ..	41.0	101.5	268.0	17.5	0—14
Siipilevitin — *Aerofoil spreader*	38.0	83.0	490.0	38.0	0—16
Keskipakolevitin — *Centrifugal spreader*	52.0	76.0	67.0	55.0	2—20

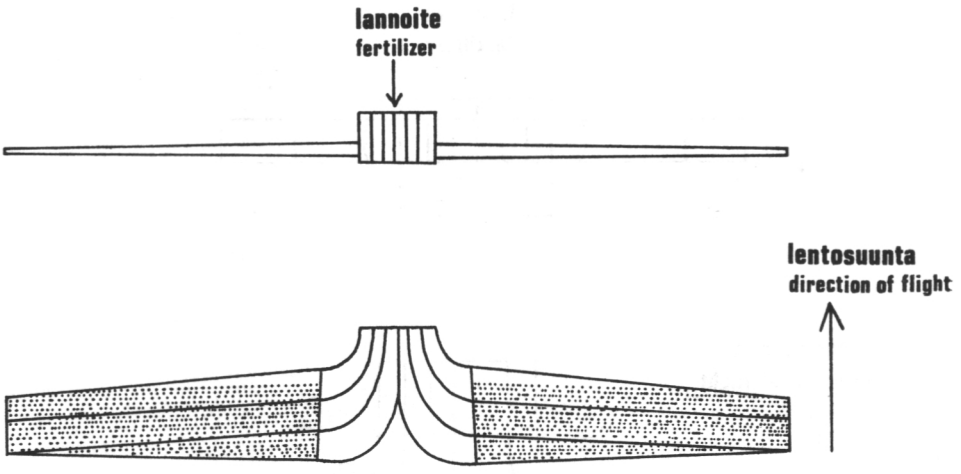


Kuva 2. Kanavalevitin
Figure 2. Venturi spreader

Myös siipilevittimiä on käytössä useita eri tyyppejä, joiden koko vaihtelee huomattavasti (Nelson ja Lincoln 1968). Levityskokeissa käytetty Translandin Swathmaster levitin (kuva 3, s. 12) on suurin käytössä oleva tyyppi (päämitat taulukossa 1, s. 10), joka soveltuu vain voimakastehoisiin yli 450 hv:n moottorilla varustettuihin lannoituslentokoneisiin (vrt. Nelson, 1963, s. 14).

Rakenteeltaan siipilevitin muistuttaa lentokoneen tasoja. Levitin on sijoitettu koneen alle, lannoitesäiliön alapuolelle. Lannoite valuu säiliöstä levittimen ilmanottoaukon takana olevaan kanavistoon, josta se ilmavirran työntämänä leviää levittimen tasomaisiin siipiin (kuva 3, s. 12). Koneen liikkuessa levitintasojen rei'itetyille yläpinnoille syntyy alipaine, joka imee osan lannoiterakeita tätä kautta ulos levittimestä, osan levitessä tasojen jättöreunan ja kärkien kautta (Anon 1973 a, s. 22).

Siipilevitin on ns. yleislevitin (ks. liite 1), joka soveltuu myös nestemäisten aineiden levitykseen. Jauhemaisten lannoitteiden levityksessä levittimellä on syytä käyttää melko pieniä annostuksia (alle 100 kg/ha), koska levitin pyrkii helposti tukkeutumaan. Rakeisten lannoitteiden osalta levitin soveltuu sellaisille lannoitteille, joissa raeläpimitta on alle 10 mm, sillä vain tätä pienemmät rakeet mahtuvat levitintasojen rei'itetyn yläpinnan lävitse.



Kuva 3. Siipilevitin
Figure 3. Aerofoil spreader (Swathmaster)

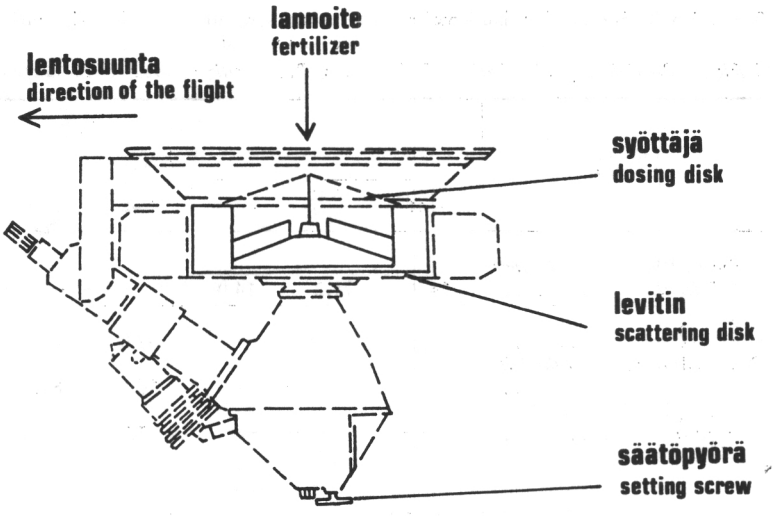
Käytännön levitysteho on siipilevittimellä 0—16 kg/sek. Tätä suurempaa purkausnopeutta ei siipilevitintä käytettäessä saavuteta, koska levitin tukkeutuu nopeasti, täten hätätilanteissa tarpeellista lannoitesäiliön pikatyhjennystä ei myöskään siipilevittimellä varustetuissa lannoituslentokoneissa voida nykyisellään toteuttaa.

Keskipakolevitin on tässä selostetuista levittimistä teknisesti pisimmälle kehitetty. Varsinaisen käyttöalueensa keskipakolevitin näyttää saavuttaneen helikopterilevittimenä (G u s t a v s s o n 1971 a.). Lannoituslentokoneisiin keskipakolevitin on saatavissa vakiovarusteena ainoastaan Cmelak Z-37:ään.

Kokeissa käytetty levitintyyppi oli Moravan M-63 mekaanisella voiman siirrolla varustettu keskipakolevitin (kuva 4, s. 13). Muista kokeissa käytetyistä levitintyypeistä M-63 eroaa toimintaperiaatteensa lisäksi myös siinä, että se on varustettu erillisillä lannoitteen syöttölaitteella, joka takaa lannoitteen jatkuvan ja tasaisen syötön itse levittimeen. Syöttölaitteen muodostaa säädettävä pyörivä syöttökartio (100 rpm), joka syöttää lannoitteen säiliöstä koneen alla olevaan keskipakolevittimen heittopyörään (650 rpm). Sekä pyörivä syöttökartio että keskipakolevittimen heittopyörä saavat käyttövoimansa koneen moottorista pneumaattisen kytkimen välityksellä (A n o n 1966, s. 9). Levitin on tarkoitettu sekä jauhemaisten että rakeisten lannoitteiden levitykseen, valmistajan mukaan suurin levittimelle soveltuva raekoko on halkaisijaltaan 10 mm (A n o n 1966, s. 8).

Keskipakolevittimen levitysteho on 2—20 kg/s. Levitystehon säätö tapahtuu portaattomasti säätöpyörällä, jolla määrätään pyörivän syöttökartion aukeamisaste (kuva 4, s. 13).

Myös lentoturvallisuuden kannalta keskipakolevitin edustaa kehittyneempää astetta kuin muut kokeessa käytetyt levitintyypit. Lannoitesäiliön pikatyhjennys



Kuva 4. Keskipakolevitin
Figure 4. Centrifugal spreader

tapahtuu siten, että koko levitinmekanismi irroitetaan koneen alta. Täysi lannoitesäiliö, jossa on noin 600 kg lannoitetta, tyhjenee lannoitteen juoksevuudesta riippuen 5—7 sekunnissa (vrt. W a l k e r 1970, s. 55). Tyhjennysnopeus on tällöin noin 100—200 kg/s, joka on yli kolme kertaa suurempi kuin mitä esim. auralevitintä käytettäessä on mahdollista saavuttaa.

Työkoneina käytettiin erityisesti maa- ja metsätalouskäyttöön suunniteltuja lannoituslentokoneita. Auralevittimellä suoritetut kokeet lennettiin Cessna AGwagon ja Cessna AGtruck koneilla, jotka ovat yleisimmät lannoituslentokonetyypit Suomessa. Maksimikuorma AGwagonilla on n. 700 kg ja AGtruckilla n. 900 kg. Lentonopeus molemmilla konetyypeillä n. 180 km/h (A n o n 1973 a, s. 122). Siipilevitintä ja kanavalevitintä käytettiin asennettuna Thrush Commander S-2R:ään. Tämä konetyyppi on suurin Suomessa käytössä oleva lannoituslentokone. Maksimikuorma on n. 1 300 kg ja koneen nopeus n. 200 km/h (A n o n 1973 b). Keskipakolevitin kuului vakiovarusteena Cmelak Z-37 koneeseen. Tässä konetyypissä lannoitesäiliö sijaitsi koneen ohjaamon takana. Koneen maksimikuorma oli n. 600 kg ja lentonopeus n. 120 km/h (A n o n 1967 a).

32. Levityskokeissa käytetyt lannoitteet

Lannoitteen vaikutusta lentokoneissa käytettävien levitinlaitteiden toimintaan sekä niiden levityskaistan lannoitejakautumaan on tässä tutkimuksessa selvitetty käyttämällä neljää toisistaan raekoon puolesta selvästi eroavaa lannoitetyyppiä (Taulukko 2, s. 14).

Taulukko 2. Suometsien jauhemaisen PK-lannoksen, urean, oulunsalpietarin ja metsäsalpietarin seula-analyysi

Table 2. Partiale size distribution of the ground PK fertilizer, urea, Oulu saltpeter and forest saltpeter

Lannoite *Fertilizer*	Seula-analyysi % Ø mm						
	—0.11	0.42 —0.11	+0.42	1—2	2—4	4—6	+6
Jauhem. PK-lann. — *Ground PK fertilizer*	14.8	71.2	14.0				
Urea — *Urea*				32.0	68.0	0	0
Oulunsalpietari — *Oulu saltpeter*				16.1	81.7	2.2	0
Metsäsalpietari — *Forest saltpeter*				3.7	21.6	28.0	46.7

Jauhemaista suometsien PK-lannosta käytettiin jauhemaisena lannoitteena. Urea edusti pienirakeisia lannoitteita ja oulunsalpietari keskisuurirakeisia lannoitteita. Suurirakeisena lannoitteena käytettiin metsäsalpietaria. Kaikki kyseiset lannoitteet ovat Suomessa Kemira Oy:n valmistamia ja kokeilutarkoituksiin valmistettua metsäsalpietaria lukuunottamatta yleisesti metsänlannoituksessa käytettyjä.

Jauhemainen suometsien PK-lannos on mekaaninen seoslannoite, jossa aineosina ovat raakafosfaatti ja kalisuola. Fosforin osuus PK-lannoksessa on keskimäärin 24 % P_2O_5:nä ja kalin 15 % K_2O:na (Huikari ja Paavilainen, 1972, s. 33). Raakafosfaatin ja kalisuolan hiukkaskoot eroavat selvästi toisistaan. Fosforipitoisuus on korkein PK-lannoksen karkeimmassa aineosassa, kalipitoisuuden noustessa korkeimmaksi pölymäisessä aineosassa (taulukko 3, s. 14). Urea, oulunsalpietari ja metsäsalpietari ovat rakeistettuja lannoitteita, joten niissä ei ravinteiden jakautumista enää levityksen yhteydessä pääse tapahtumaan. Ravinteiden jakautuminen eri rae-

Taulukko 3. Suometsien jauhemaisen PK-lannoksen, urean, oulunsalpietarin ja metsäsalpietarin ravinnepitoisuusanalyysi

Table 3. The analysis for the nutrient contents of ground PK-fertilizer, urea, Oulu saltpeter and forest saltpeter

Lannoite *Fertilizer*	P_2O_5 % Ø mm			K_2O % Ø mm			N % Ø mm			
	—0.11	0.42 —0.11	+0.42	—0.11	0.42 —0.11	+0.42	1—2	2—4	4—6	+6
Jauhem. PK-lannos — *Ground PK fertilizer*	6.4	14.7	31.8	46.4	9.1	2.2				
Urea — *Urea*							46.3	46.5	—	—
Oulunsalpietari — *Oulu saltpeter*							26.1	26.0	26.1	—
Metsäsalpietari — *Forest saltpeter* ...							28.7	29.2	30.9	31.2

kokojen kesken on näissä lannoitteissa melko tasainen (taulukko 3, s. 14), ainoastaan metsäsalpietarissa typpipitoisuus lievästi kohoaa raekoon kasvaessa.

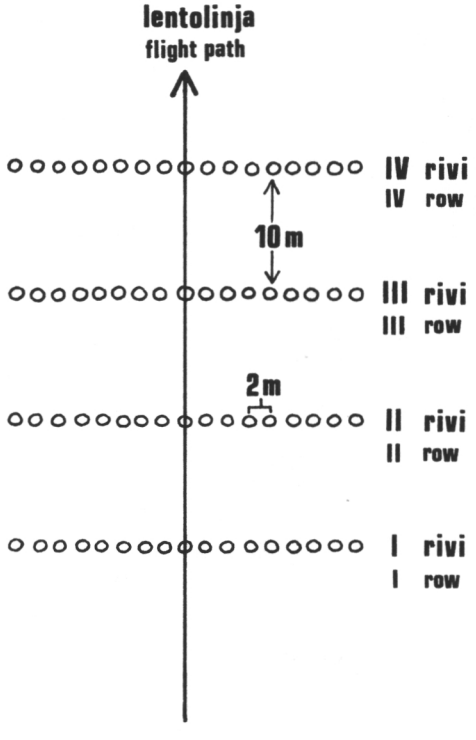
Käsillä olevassa tutkimuksessa käytetyt lannoitteet kuuluvat samoihin eriin kuin tämän tutkimussarjan ensimmäisessä osassa (V i r t a n e n, 1975) käytetyt lannoitteet. Säkitettyinä varastoitujen lannoitteiden kosteutta tarkkailtiin varastoinnin aikana säännöllisesti. Kosteuspitoisuuden vaihtelu varastoinnin aikana oli varsin pieni, keskimääräiset kosteuspitoisuusarvot eri lannoitteilla on esitetty tutkimussarjan ensimmäisen osan loppuraportissa taulukoissa 1 ja 2 (ks. V i r t a n e n, 1975, s. 9—11).

4. NÄYTTEENOTTO- JA MITTAUSMENETELMÄT

41. Koejärjestelyt

Lannoitteiden levityskokeet suoritettiin koeolosuhteissa avoimessa maastossa Joensuun lentoasemalla vuosina 1973—1975. Kokeiden aikana ulkoisten olosuhteiden rajoitukset olivat: ilma ja maanpinta kuivat, tuuli tasainen, enintään 3 m/s, käytettävä lannoite kuivaa ja levitinlaite koetta varten säädetty.

Levitinlaitteiden levityskaistan leveyden ja lannoitejakautuman määrittämiseen käytettiin 100 mittasuppilon muodostamaa mittauskenttää. Mittasuppilot sijoitettiin neljään riviin, joiden etäisyys toisistaan oli 10 m. Mittauskentän pituudeksi tuli näinollen 30 metriä (kuva 5, s. 16).



Kuva 5. Näytteiden keräyksessä käytetty mitta-astiakenttä.

Figure 5. Ground-plan of the arrangement of the catchers.

Taulukko 4. Tutkimuksen koemateriaali
Table 4. The material of the study

Koe *Experiment*	Levitin *Spreader*	Lannoite *Fertilizer*	Toistoja *Number of replicates* Lentokorkeus *Flying height* 15 m	30 m	60 m
Lannoitejakautuma levityskaistalla *Distribution patterns*	Auralevitin *Plough spreader*	Jauhem. PK-lann. — *Ground PK fert.*	4	4	4
		Urea — *Urea*	6	6	6
		Oulun salp. — *Oulu saltpeter*	6	6	6
		Metsäsalp. — *Forest saltpeter*	4	4	4
	Kanavalevitin *Venturi spreader*	Jauhem. PK-lann. — *Ground PK fert.*	4	4	4
		Urea — *Urea*	4	4	4
		Oulunsalp. — *Oulu saltpeter*	4	4	4
		Metsäsalp. — *Forest saltpeter*	4	4	4
	Siipilevitin *Aerofoil spreader*	Jauhem. PK-lann. — *Ground PK fert.*	4	4	4
		Urea — *Urea*	4	4	4
		Oulunsalp. — *Oulu saltpeter*	4	4	4
		Metsäsalp. — *Forest saltpeter*	4	4	4
	Keskipakolevitin *Centrifugal spreader*	Jauhem. PK-lann. — *Ground PK fert.*	4	4	4
		Urea — *Urea*	4	4	4
		Oulunsalp. — *Oulu saltpeter*	4	4	4
		Metsäsalp. — *Forest saltpeter*	4	4	4
Sivutuulikoe *Cross wind experiment*	Auralevitin *Plough spreader*	Jauhem. PK-lann. — *Ground PK fert.*	4	—	—
		Urea — *Urea*	4	4	—
		Oulunsalp. — *Oulu saltpeter*	4	4	—
Lentoasentokokeet *Flying position experiment*	Auralevitin *Plough spreader*	Oulunsalp. — *Oulu saltpeter*	4	4	4

Lannoitteen levitys tapahtui siten, että testattavalla työyksiköllä ajettiin mittauskentän yli maastoon selvästi merkittyä ajolinjaa noudattaen. Mittauskentän suunta ja käytetty ajolinja valittiin kokeessa siten, että lennot voitiin aina suorittaa vasten tuulta.

Lannoitteen levitys aloitettiin 150 m ennen mitta-astiakenttää, näin saatiin levittimen toiminta vakiintumaan koekentän ylityksen ajaksi. Koetoistoja oli 4—6 kappaletta (taulukko 4, s. 17).

Käytännössä lentokone ylitti mittauskentän n. yhdessä sekunnissa, mutta levityskaistan pituussuuntaisen tarkastelun perusteella ei voitu havaita, että mittauskentän pituudella olisi ollut vaikutusta mittaustuloksiin. Auralevittimellä suoritetuissa kokeissa mittauskentän pituutta lisättiin 30 metristä 180 metriin, mitta-astiarivien välin suurentuessa 10 metristä 60 metriin.

Kokeet suoritettiin keskisuurirakeisella oulunsalpietarilla, lentokorkeuksina olivat 15 m, 30 m ja 60 m. Kukin koe toistettiin viidesti.

Mitta-astioiden välisiä eroja tarkasteltiin 8 metriä leveillä levityskaistan keskiosalla, joka sisälsi n. 80 % koko levityskaistan lannoitemäärästä. Samalla etäisyydellä

koneen lentolinjasta olleista mitta-astioista mitattujen lannoitemäärien hajontaa kuvattiin variaatiokertoimella (Vk).

$$Vk = \frac{\sqrt{\frac{\Sigma (x-\bar{x})^2}{n-1}}}{\bar{x}} \cdot 100\ (\%)$$

Näissä kokeissa ei havaittu t-testillä tilastollisesti merkitseviä eroja keskimääräisissä variaatiokertoimissa (taulukko 5 s. 18). Myöskään lentokorkeuden vaihtelu ei näyttänyt aiheuttavan muutoksia levityskaistan pituussuuntaisessa variaatiossa.

Mitta-astiariveissä astioiden välimatkana oli kaksi metriä. Muutamia kokeita suoritettiin myös siten, että mitta-astioiden välimatka oli yksi metri. Mitattavien näytepisteiden lukumäärä nousi tällöin kahteensataan, mutta levityskaistan leveydessä eikä levityskaistan poikkisuuntaisessa lannoitejakautumassakaan havaittu selviä eroja verrattuna mittaustapaan, jossa mitta-astioiden välimatka oli kaksi metriä (vrt. Baltin ja Brandt 1966 ja Lee ja Stephenson 1971). Toisaalta kolme metriä mitta-astioiden välimatkana näytti jo liian suurelta, sillä varsinkin levityskaistan leveyden määritys muuttui epävarmaksi.

Mitta-astiana näissä kokeissa käytettiin 35 cm korkeaan kehikkoon asetettua kangassuppiloa (ks. Virtanen 1975 s. 14, kuva 5), jonka suupinta-ala oli 2.5 dm^2. Käytännön työmaavalvontaa varten kehitetyn mittasuppilon materiaalina oli pehmeä, liukaspintainen enstex-kangas.

Kangassuppilo osoittautui pitkäaikaisessa käytössä selvästi muovista paremmaksi, sillä ilmassa oleva kosteus imeytyi kankaaseen, kun taas muovisuppilon seinämiin tiivistyvä kosteus kostutti myös suppiloon joutuneen lannoitteen, jolloin näytteen mittaus vaikeutui huomattavasti. Pehmeä kangasmateriaali esti myös suppilon reunoille putoavia lannoiterakeita kimpoamasta pois suppilosta. Muovisuppilossa tämä jouduttiin estämään käyttämällä löysää pussimaista rakennetta (ks. Virtanen, 1975 s. 14, kuva 5), jolloin myös lannoiterakeiden poissaanti hieman vaikeutui.

Mitta-astian suupinta-alan vaikutusta mittaustulosten tarkkuuteen tutkittiin koesarjalla, jossa koekenttä muodostui neljästä mitta-astiarivistä. Riviväli oli yksi metri,

Taulukko 5. Lennon pituussuuntainen variaatiokerroin. Mitta-astiarivien väli 10 m, 30 m ja 60 m. Mittauskentässä neljä mitta-astiariviä

Table 5. Variation coefficient in the flying direction. The distance between the catcher rows 10 m, 30 m and 60 m. Four catcher rows in the trial arrangement

Mitta-astiarivien välimatka *Distance between catcher rows* (m)	Lennon pituussuuntainen variaatiokerroin (%) *Variation coefficient in the flying direction*		
	Lentokorkeus — *Flying height*		
	15 m	30 m	60 m
10	18.1	16.1	19.9
30	17.3	19.1	19.9
60	17.1	18.6	16.7

mitta-astioiden etäisyyden ollessa kaksi metriä. Ensimmäisessä kokeessa mitta-astiat olivat kangassuppiloita, suupinta-alaltaan 2.5 dm², toisessa muovisuppiloita, suupinta-alaltaan 4.0 dm². Kolmannessa kokeessa ensimmäisessä ja kolmannessa rivissä mittasuppiiot olivat 2.5 dm²:n kangassuppiloita sekä toisessa ja neljännessä rivissä 4.0 dm²:n muovisuppiloita. Koesarja suoritettiin auramallisella lentokonelevittimellä. Lannoitteina olivat pienirakeinen urea ja keskisuurirakeinen oulunsalpietari.

Mitta-astioiden välisiä eroja tarkasteltiin näissä kokeissa tehollisella levityskaistalla (ks. liite 1), joka sisälsi 80 % koko levityskaistan lannoitemäärästä. Levityskaistan pituussuuntaisessa variaatiossa ei havaittu mitään merkittäviä eroja (ks. Virtanen 1975 s. 13) eri mitta-astiatyyppejä tai niiden yhdistelmiä käytettäessä. Myös Baltin ja Brant (1966) ja Armson (1972) ovat todenneet mitta-astian muodon ja materiaalin vaikuttavan enemmän tuloksen tarkkuuteen kuin mitta-astian suupinta-alan koon. Varsinkin kenttäkäytössä tällä oli huomattava merkitys, sillä 2.5 dm²:n mittasuppiloiden näytemäärät olivat pienemmät kuin 4.0 dm²:n suppiloiden ja tulosten analysointi myös nopeampaa.

Lentokoneiden aikana ilman lämpötila ja kosteus sekä tuulen suunta ja nopeus rekisteröitiin lentokentän säähavaintoaseman laitteistoilla, jotka sijaitsivat kokeissa käytettävällä alueella. Tuulen suuntaa ja nopeutta mittaava laitteisto oli sijoitettu n. 11 metrin korkeuteen maanpinnasta. Koska tuulen suunnassa ja nopeudessa tapahtuu muutoksia jo melko nopeasti maanpinnan yläpuolelle noustaessa (Anon 1968 s. 59), maanpinnan yläpuolelle sijoitettu mittalaitteisto antaa maanpinnalla olevaan laitteistoon verrattuna jonkinverran totuudenmukaisemman kuvan niistä olosuhteista, joissa lannoite leviää koneen levittimestä irrottuaan. Koealueella vallitsevan pintatuulen hetkellisiä puuskia ja suunnanmuutoksia osoittamaan käytettiin ilmapalloja.

Levityskokeissa lentokoneen nopeus mitattiin lannoitteen levityksen aikana koneen ylittäessä mittauskenttää. Havainnot tehtiin 200 metrin pituiselta lentoradan osalta. Kokeissa koneet lensivät 75 % teholla vakioilmanopeudellaan, tuulen vaikutusta ei pyritty kumoamaan koneen tehoa muuttamalla. Tuulen suunnasta ja nopeudesta riippuen koneiden mitattu maanopeus vaihteli hieman (lentokoneen ilmanopeus m/s $\pm$ 3 m/s). Tämän suuruisella nopeuden vaihtelulla ei kuitenkaan havaittu olevan vaikutusta testattujen levitinlaitteiden työjälkeen kuten toteaa myös Gustavsson (1972, s. 21). Keskimääräiset ilmanopeudet kokeissa käytetyillä lentokoneilla olivat: Cmelak 33 m/sek, Cessna AGwagon ja AGtruck 44 m/sek ja Thrush Commander 45 m/sek.

Levityskokeissa lentokorkeuksina olivat 15 m, 30 m ja 60 m. Lentäjä tarkkaili kokeen suorituksen aikana lentokorkeuttaan koneen korkeusmittarilla, lisäksi maasta suoritettiin koneen lentokorkeuden määrityksiä. Tämä tapahtui siten, että pystykulmamittareilla määritettiin 30 metrin etäisyydeltä koneen lentolinjan kummaltakin puolelta tähtäyskulma mittauspaikkaa ohittavaan koneeseen (tähtäyspisteenä koneen potkurinnapa). Tähtäyskulmien avulla laskettiin koneen lentokorkeus, lisäksi näin voitiin myös arvioida, kuinka tarkasti kone oli noudattanut maastoon merkittyä lentolinjaansa (vrt. Gustavsson, 1972, s. 18).

Havaintojen perusteella 10 %:n poikkeamat halutusta lentokorkeudesta olivat varsin tavallisia, mikäli poikkeama ylitti 20 %, koe uusittiin. Haluttujen lentokorkeuksien noudattamista on kuitenkin pidettävä hyvänä, sillä koneiden korkeusmittarit, joiden toiminta perustui ilmanpaineen vaihteluun, olivat jonkinverran epätarkkoja matalissa lentokorkeuksissa (ks. A n o n 1968, s. 11). Lannoitteen levityksen aikana koneen paino myös väheni ja tästä syystä lentorata pyrki nousemaan. Koneen lentolinjan suunnassa suoritetuilla perättäisillä korkeusmittauksilla todettiin, että koneen lentorata aaltoili hiukan, koska lentäjä korjasi lannoitteen vähenemisestä johtuvan lentoradan nousun koneen ohjaimilla.

42. Näytteiden mittaus

Mittaus-astioista saatujen näytteiden paino määritettiin punnitsemalla jauhemaisella suometsien PK-lannoksella sekä metsäsalpietarilla. Punnitus tapahtui 0.001 g tarkkuudella. Jauhemaisella lannoitteella näytteiden paino olisi voitu määrittää myös näytteen tilavuuden ja lannoitteen tilavuuspainon avulla. Koska näytteiden ravinnepitoisuuden selvittäminen kuitenkin oli suoritettava laboratoriossa, jätettiin myös painon määritys tähän työvaiheeseen. Suurirakeisen metsäsalpietarin kohdalla punnitus taas osoittautui välttämättömäksi, koska tilavuus kertaa tilavuuspaino tai raeluku kertaa keskimääräinen raepaino ei antanut edes tyydyttävää mittaustarkkuutta.

Urealla suoritetuissa kokeissa näytteiden tilavuus mitattiin putkimaisella tilavuusmittarilla (ks. G u s t a v s s o n, 1972 s. 6) 0.01 cm^3 tarkkuudella. Näytteen paino saatiin selville kertomalla näytteen tilavuus urean tilavuuspainolla. Tilavuuspaino määritettiin 50 kokeen sarjalla, josta keskimääräiseksi tilavuuspainoksi saatiin 0.671 g/cm^3.

Saadun keskimääräisen tilavuuspainon tarkkuus oli varsin hyvä, sillä näytepainot, jotka saatiin näytteen tilavuuden ja tilavuuspainon avulla vastasivat hyvin punnitustuloksia, korrelaatiokertoimien ollessa 0.96.

Keskisuurirakeisella oulunsalpietarilla lannoitenäytteiden painon määritys tilavuuspainon avulla osoittautui epätarkaksi. Samoin keskimääräisen raepainon ja näytteen raeluvun avulla saadut painot saattoivat poiketa todellisista näytepainoista yli 100 %:lla. Tulosten tarkkuus parani oleellisesti, kun näytteet seulottiin läpimitaltaan + 4 mm:n, 4—2 mm:n ja 2—1 mm:n raefraktioihin. 100 näytteen perusteella kullekin

Taulukko 6. Oulunsalpietarin jakautuminen raefraktioihin ja raefraktioiden keskimääräiset raepainot
Table 6. The grain size distribution of Oulu saltpeter and the average grain weights of the grain size classes

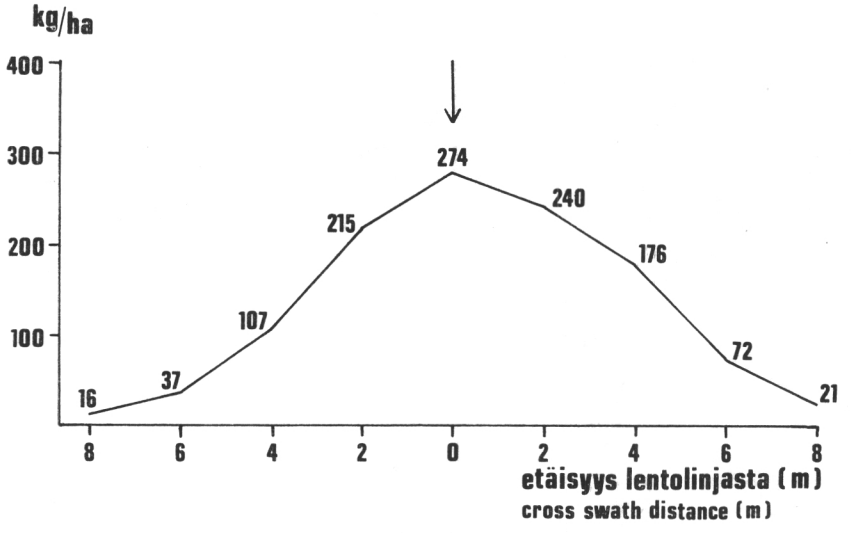
Läpimitta *Diameter*	% koko määrästä *% of total amount*	Keskimääräinen raepaino *Average grain weight* (g)
6—4 mm	2.2	0.0663
4—2 mm	81.7	0.0212
2—1 mm	16.1	0.0071

raefraktiolle määritettyjen keskimääräisten raepainojen (taulukko 6 s. 20). avulla raefraktioihin seulotuille näytteille lasketut painot vastasivat hyvin todellisia punnittuja näytepainoja korrelaatiokertoimen ollessa 0.99.

43. Lannoitustasaisuuden määritys

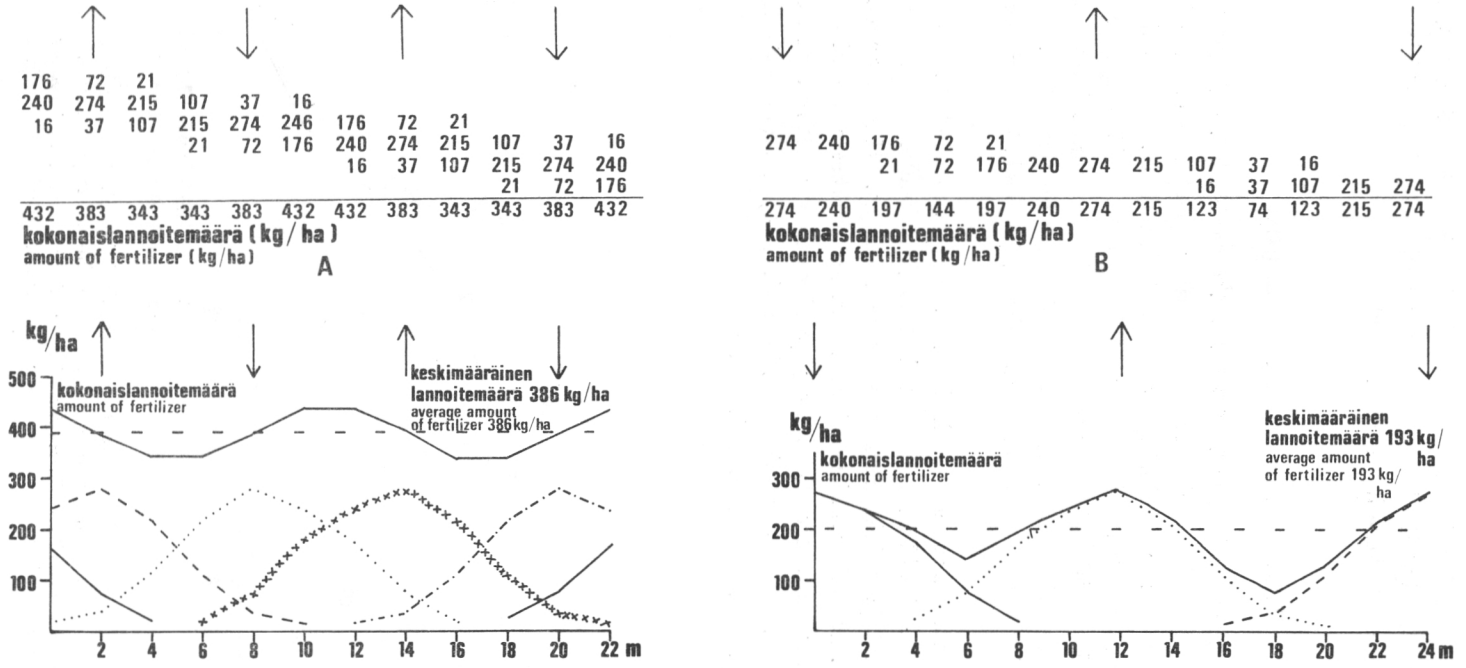
Lannoitustasaisuuden määrityksessä käytettävistä menetelmistä on erotettavissa käytännön työmaiden lannoitustasaisuuden kuvaamiseen soveltuvat ja levitinlaitteiden testaukseen soveltuvat menetelmät. Ero menetelmien välillä ei aina ole selvä, sillä eräitä käytännön lannoitustasaisuuden tarkkailuun kehitettyjä menetelmiä voidaan soveltaa myös levitinlaitteiden testauksessa lannoitustasaisuutta kuvaamaan, ja toisaalta varsinaiseen tutkimustyöhön tarkoitettuja laskentamenetelmiä voidaan soveltaa käytännön lannoitustasaisuuden mittaamiseen, joskin laskennallisesti tämä on varsin työlästä.

Käytännön lannoitustasaisuuden tarkkailuun käytettäviä menetelmiä ovat »half-value»-menetelmät (ks. Ballard ja Will 1971), tasaisuuslukumenetelmä (ks. Hagner ym. 1966) ja poikkeamaprosenttimenetelmä (ks. Huuhtanen ja Virtanen 1974). Lannoitemäärien hajontaa standardipoikkeaman avulla kuvaavan menetelmän ovat esittäneet Ekberg ja Friberg (1974). Suhteellista standardipoikkeamaa 1. variaatiokerrointa (ks. luku 41. s. 16) on lannoitustasaisuutta kuvaamaan käyttänyt mm. Armson (1972).



Kuva 6. Keskimääräinen lannoitejakautuma auralevittimellä. Lentokorkeus 15 m. Lannoitteena urea. Nuoli osoittaa koneen lentolinjaa ja -suuntaa.

Figure 6. The average fertilizer distribution with the plough spreader. Flying height 15 m. Urea as a fertilizer. The arrow shows the line and direction of the flight.

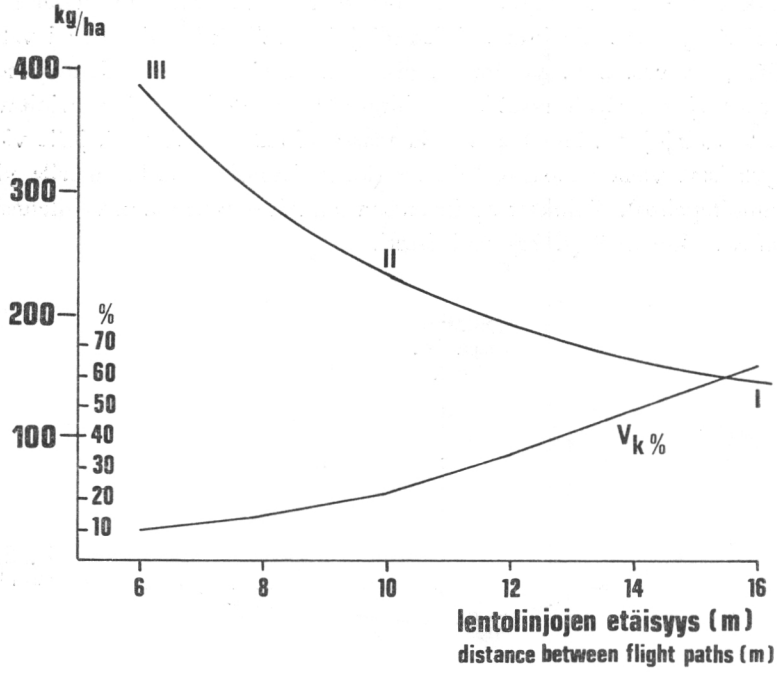


Kuva 7. Optimaalinen lannoitejakautuma levityskaistalla, kun lentolinjojen välimatka on (A) 6 m (kokonaislannoitejakautuman hajontaa kuvaava variaatiokerroin 10.3 %) ja (B) 12 m (kokonaislannoitejakautuman hajontaa kuvaava variaatiokerroin 33.1 %). Nuolet osoittavat lentosuuntaa

Figure 7. The optimum distribution of fertilizer on the spreading strip when the distance between the flying lines is (A) 6 m (the variation coefficient illustrating the total distribution of fertilizer is 10.3 %) and (B) 12 m (the variation coefficient illustrating the total distribution of fertilizer is 33.1 %). Arrows show the flying direction

Levitinlaitetestauksessa käytetään yleensä menetelmiä, joissa levityskaistan lannoitejakautuman hajontaa kuvataan variaatiokertoimien avulla. Tässä tutkimuksessa käytetty ns. optimaalisen lannoitustasaisuuden (ks. liite 1) määritysmenetelmä on OECD:n yleisesti lannoitteenlevittimien testaukseen suosittelema (A n o n 1970). Ruotsissa vastaavaa menetelmää lentokonelevittimien testauksessa on käyttänyt G u s t a v s s o n (1972). Tämäkin osaltaan puoltaa kyseisen menetelmän käyttöä Suomessa, sillä Suomen oloja vastaavia työskentelyolosuhteita varten suunniteltujen levittimien ja lannoitteiden vertailu on tällöin varsin helppoa.

Optimaalisen lannoitustasaisuuden laskennassa käytetyt keskimääräiset lannoitejakautumasarjat on saatu koeolosuhteissa (luku 41) eri levitinlaitteilla suoritetuissa levityskokeissa. Kuvassa 7 (s. 22) on esitetty optimaalisen lannoitejakautuman laskentamalli, joka perustuu kuvassa 6 (s. 21) esitettyyn lannoitejakautumasarjaan.



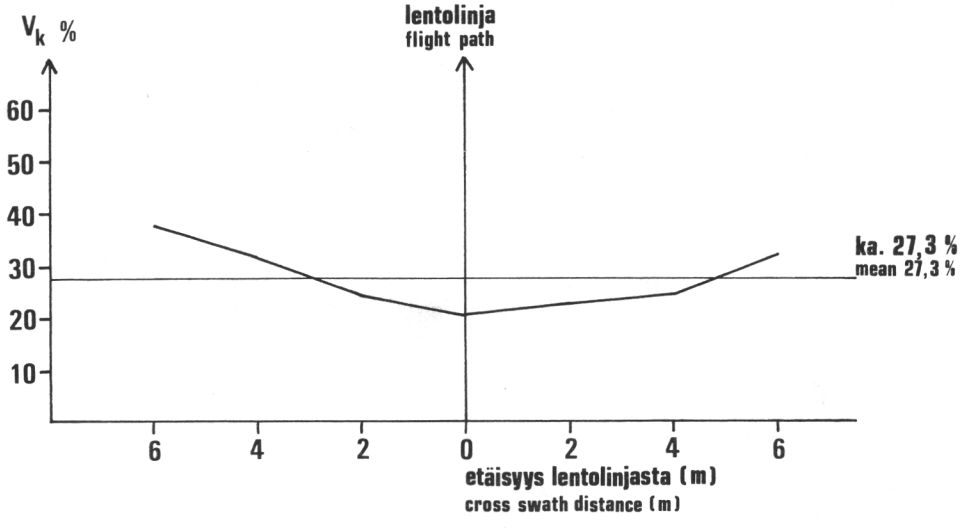
Kuva 8. Keskimääräinen lannoitemäärän ja lannoitustasaisuutta kuvaavan variaatiokertoimen (V_k) vaihtelu levitinyksikön lentolinjojen etäisyyden kasvaessa. Auralevitin, lentokorkeus 15 m, lannoitteena urea. Roomalaiset numerot ilmoittavat, kuinka moninkertaisen lannoitepeiton lannoitettava alue on saanut, kun lentolinjojen välimatka kasvaa.

Figure 8. The average change of the fertilizer amount and the variation coefficient (V_k) illustrating the fertilizer evenness while the distance between the flight paths increases, the plough spreader, flying height 15 m, urea is a fertilizer. Roman figures indicate the overlapping degree while the distance between flight paths increases.

Todellista levitystyötä optimaalisen lannoitustasaisuuden määrityksessä on jäljitetty siten, että joka toinen lannoitejakautumasarja on edellisen sarjan peilikuva. Näin on saatu aikaan lannoitejakautuman vaihtelu, joka vastaa vaihtelua, joka käytännön työssä syntyy, kun lannoitetta levittävä kone lentää edestakaisin lannoitettavan alueen yli noudattaen yhdensuuntaisia (joko maastoon merkittyjä tai useimmiten arvionvaraisia) lentolinjoja.

Laskennassa lannoitejakautumat on ryhmitetty siten, että ne kuvaavat lannoitettavan alueen saamaa kokonaislannoitemäärää. Ryhmittämällä jakaumasarjat useampaan kertaan voidaan kuvata kokonaislannoitemäärän muutoksia, kun lentolinjojen välinen etäisyys muuttuu. Summaamalla lannoitejakautumasarjat kuvassa 7 (s. 22) esitetyllä tavalla, saadaan lannoitettavan alueen kokonaislannoitemäärään jakautuma. Tämän jakautuman hajontaa ilmoittava variaatiokerroin on lannoitustasaisuuden mittana, kuvaten kuinka tasaisesti tai epätasaisesti lannoite testattavalla levitinlaitteella optimitapauksessa pystytään levittämään (vrt. Gustavsson 1972, s. 25).

Tässä tutkimuksessa testattujen levitinlaitteiden osalta optimaalisen lannoitustasaisuuden määrityksessä pienimmäksi lentolinjojen väliseksi etäisyydeksi valittiin kuusi metriä, joka vastaa n. puolta kokeissa käytettyjen lannoituslentokoneiden siiven jännevälistä ja on käytännössä kohtuullisella tarkkuudella lentäjän arvioitavissa. Suurimpana lentolinjojen välimatkana laskennassa pidettiin etäisyyttä, jolla vierekkäiset levityskaistat vielä sivusivat toisiaan (koko lannoitettavalla alueella yksinkertainen lannoitepeitto). Tulokset optimaalisen lannoitustasaisuuden vaihtelusta on esitetty graafisesti kuvan 8 (s. 23) mukaisesti.



Kuva 9. Variaatiokerroin levityskaistan pituussuunnassa. Auralevitin, lannoitteena urea. Keskimääräinen variaatiokerroin 27.3 %.

Figure 9. The variation coefficient of the longitudinal distribution of the swath. Plough spreader, urea as a fertilizer. The average variation coefficient 27.3 %.

Lannoitustasaisuutta lannoitettavalla alueella koneen lentolinjojen suunnassa on kuvattu laskemalla samalla etäisyydellä lentolinjasta otettujen näytteiden hajonta variaatiokertoimella ilmaistuna. Koko levityskaistan pituussuuntainen variaatiokerroin on saatu eri etäisyyksillä lentolinjasta laskettujen variaatiokertoimien keskiarvona (kuva 9 s. 24). Variaatiokertoimet on laskettu teholliselta levityskaistalta, joka sisältää n. 80 % koko kaistan lannoitemäärästä.

Tulokset testattujen levitinlaitteiden työjäljestä levityskaistan pituussuunnassa on esitetty kunkin kokeiltavana olleen lannoitteen osalta lentokorkeuksittaisten tulosten yhdistelmänä, koska lentokorkeuden muutoksella ei havaittu olleen vaikutusta lannoitejakautumaan levityskaistan pituussuunnassa (ks. taulukko 5 s. 18).

5. LEVITYSKAISTAN LANNOITEJAKAUTUMAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Testatuilla lentokonelevittimillä kerrallaan leviävän lannoitteen annostelu suoritetaan säätämällä syöttäjän aukeamisastetta. Levityskokeissa testattavat levittimet oli säädetty siten, että leviävä lannoite purkautui levittimen kautta tasaisesti levitintä tai syöttömekanismia tukkimatta. Kerrallaan levitettävän lannoitemäärän annostusta rajoitettiin myös siten, että levityskaistan keskiosassa, missä lannoitemäärä oli suurin, ei ylitetty huomattavasti käytännön töissä eri lannoitteilla käytettyjä hehtaariannostusten ohjerajoja, jotka nykyään ovat: suometsien jauhemainen PK-lannos 500 kg/ha, urea 325 kg/ha, oulunsalpietari ja metsäsalpietari 575 kg/ha (Huikari ja Paavilainen 1972 sekä Viro 1972).

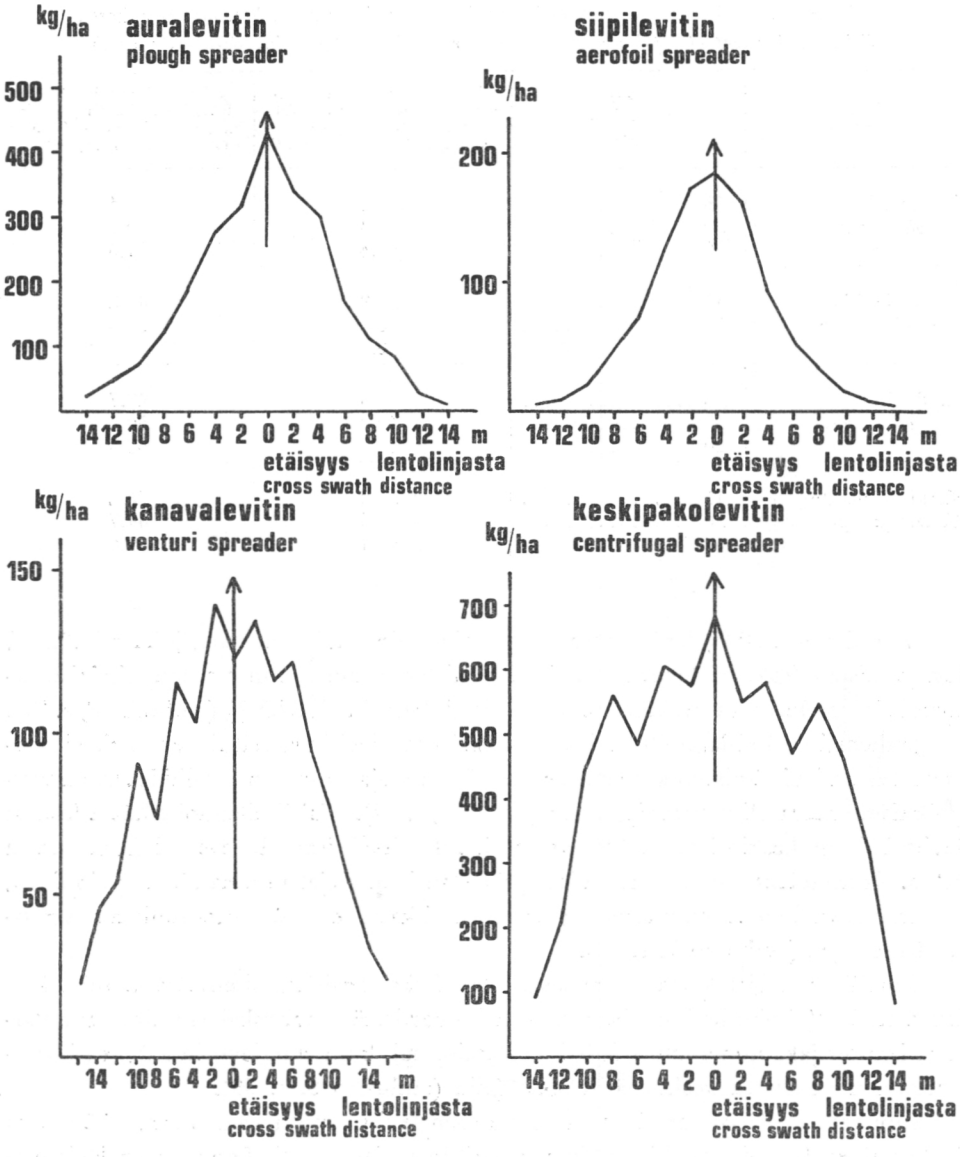
Auralevittimellä varustetuissa Gessna AGwagon ja AGtruck koneissa lannoitteen syöttöluukun aukeamisaste oli kaikilla lannoitteilla 75 %. Kanava- ja siipilevittimellä suoritetuissa levityskokeissa työkoneena käytetyssä Trush Commander koneessa lannoitteen syöttöluukun aukeamisaste säädettiin kanavalevitintä käytettäessä 60 %:iin ja siipilevitintä käytettäessä 50 %:iin.

51. Levitinlaite

Peruslentokorkeutena levitinlaitetestauksessa oli 15 m, mikä vastaa käytännössä taimistojen ja vähäpuustoisten soiden lentolannoituksissa käytettävää lentokorkeutta. Tämän lisäksi kaikilla lannoitteilla suoritettiin levityskoeohjelma, jossa lentokorkeutena oli 30 m, joka likimain vastaa varttuneiden puustojen lentolannoituksissa käytettävää lentokorkeutta. Rakeisilla lannoitteilla koeohjelma suoritettiin myös käyttämällä selvästi tavanomaisia työskentelykorkeuksia suurempaa lentokorkeutta, joksi valittiin 60 m. Jokaisella testatulla levitinlaitteella oli selvästi muista poikkeava levityskaistan lannoitejakautumaprofiili. Parhaiten erot näkyivät, kun lentokorkeus oli 15 m, jolloin lentokorkeuden lisääntymisestä aiheutuva levityskaistan lannoitejakautuman tasoittuminen ei vielä vaikuttanut tuloksiin.

511. Jauhemaisen lannoitteen levitys

Jauhemaisen PK-lannoksen levityksessä auralevittimellä lannoitejakautuma levityskaistan poikkisuunnassa oli hajanainen (kuva 10, s. 27). Lannoitemäärän huippu



Kuva 10. Lannoitejakautuma levityskaistan poikkisuunnassa jauhemaisen PK-lannoksen levityksessä. Levittimenä auralevitin, kanavalevitin, siipilevitin ja keskipakolevitin. Lentokorkeus 15 m.

Figure 10. Lateral distribution of the swath of the plough, venturi, aerofoil and centrifugal spreader. Ground PK fertilizer as a fertilizer. Flying height 15 m.

n. 430 kg/ha oli koneen lentolinjalla. Levityskaistan kokonaisleveys oli keskimäärin 28 m. Levityskaistan poikkisuuntaiselta lannoitejakautumaltaan auralevittimen levityskaista oli jauhemaista PK-lannosta käytettäessä tasapainoinen, sillä kokonaislannoitemäärä lentolinjan molemmin puolin oli likimain yhtä suuri (taulukko 7, s. 28).

Taulukko 7. Levityskaistan kokonaislannoitemäärän jakautuma lentolinjan suhteen
Table 7. Per cent of total amount of fertilizer on the right and left side of the swath

Levitin *Spreader*	Lentokorkeus *Flying height* (m)	% kokonaislannoitemäärästä lentolinjan vasemmalla puolelle *% of the total amount of fertilizer on the left side of the flight path*	% kokonaislannoitemäärästä lentolinjan oikealla puolella *% of the total amount of fertilizer on the right side of the flight path*
Auralevitin *Plough spreader*	15	51.6	48.4
	30	49.3	50.7
	60	52.4	47.6
Kanavalevitin *Venturi spreader*	15	51.8	48.2
	30	50.0	50.0
	60	50.9	49.1
Siipilevitin *Aerofoil spreader*	15	52.3	47.7
	30	49.8	50.2
	60	49.5	50.5
Keskipakolevitin *Centrifugal spreader*	15	51.8	48.2
	30	52.3	47.7
	60	52.4	47.6

Lannoitteesta 80 % levisi lentolinjan molemmin puolin alueelle, joka oli 42.9 % levityskaistan kokonaisleveydestä. Levityskaistan pituussuunnassa lannoitejakautuman hajontaa kuvaava keskimääräinen variaatiokerroin oli 27.3 % (taulukko 8, s. 29).

Jauhemaisen PK-lannoitteen levityksessä kanavalevitin soveltui pienempien kertaannostusten levittämiseen kuin auralevitin. Lannoitejakautuman profiili levityskaistan poikkisuunnassa oli monihuippuinen (kuva 10, s. 27). Maksimilannoitemäärä kohosi levityskaistan keskiosissa n. 150 kg:aan/ha. Levityskaistan leveys oli keskimäärin 32 m. Koneen lentolinjan suhteen levityskaistan lannoitejakautuma oli tasapainoinen, kokonaislannoitemäärien ollessa käytännöllisesti katsoen yhtä suuret molemmin puolin lentolinjaa (taulukko 7, s. 28).

Tehollinen levityskaista, joka sisälsi 80 % kokonaislannoitemäärästä oli 14 m leveä eli 50 % koko levityskaistan kokonaisleveydestä. Levityskaistan pituussuuntainen lannoitejakautuma oli selvästi epätasaisempi kuin auralevittimellä, variaatiokertoimen noustessa keskimäärin 33.9 %:iin (taulukko 8, s. 29).

Siipilevittimellä jauhemaisen PK-lannoksen levitys tuotti vaikeuksia, sillä raskas jauhemainen lannoite pyrki tukkimaan levittimen jatkuvasti. Lannoitteen leviämiskaista jäi keskimäärin 28 m:iin ja lannoite kasautui selvästi levityskaistan keskiosiin. Suurin lannoitemäärä oli koneen lentolinjalla n. 170 kg/ha. Lannoitteesta 80 % levisi lentolinjan molemmille puolille alueelle, joka oli vain 35.6 % koko levityskaistan leveydestä. Levityskaistan pituussuunnassa lannoitejakautuma oli sen sijaan melko tasainen variaatiokertoimen jäädessä 23.1 %:iin.

Keskipakolevitin soveltui parhaiten testatuista levittimistä jauhemaisen lannoitteen levitykseen. Kerrallaan levitettävän lannoitemäärän annostus voitiin säätää vastaamaan käytännön työssä sovellettua hehtaariannostusta. Levityskaistan kokonais-

Taulukko 8. Levityskaistan pituussuuntaisen lannoitejakautuman variaatiokerroin
Table 8. The variation coefficient of the longitudinal distribution of the swath.

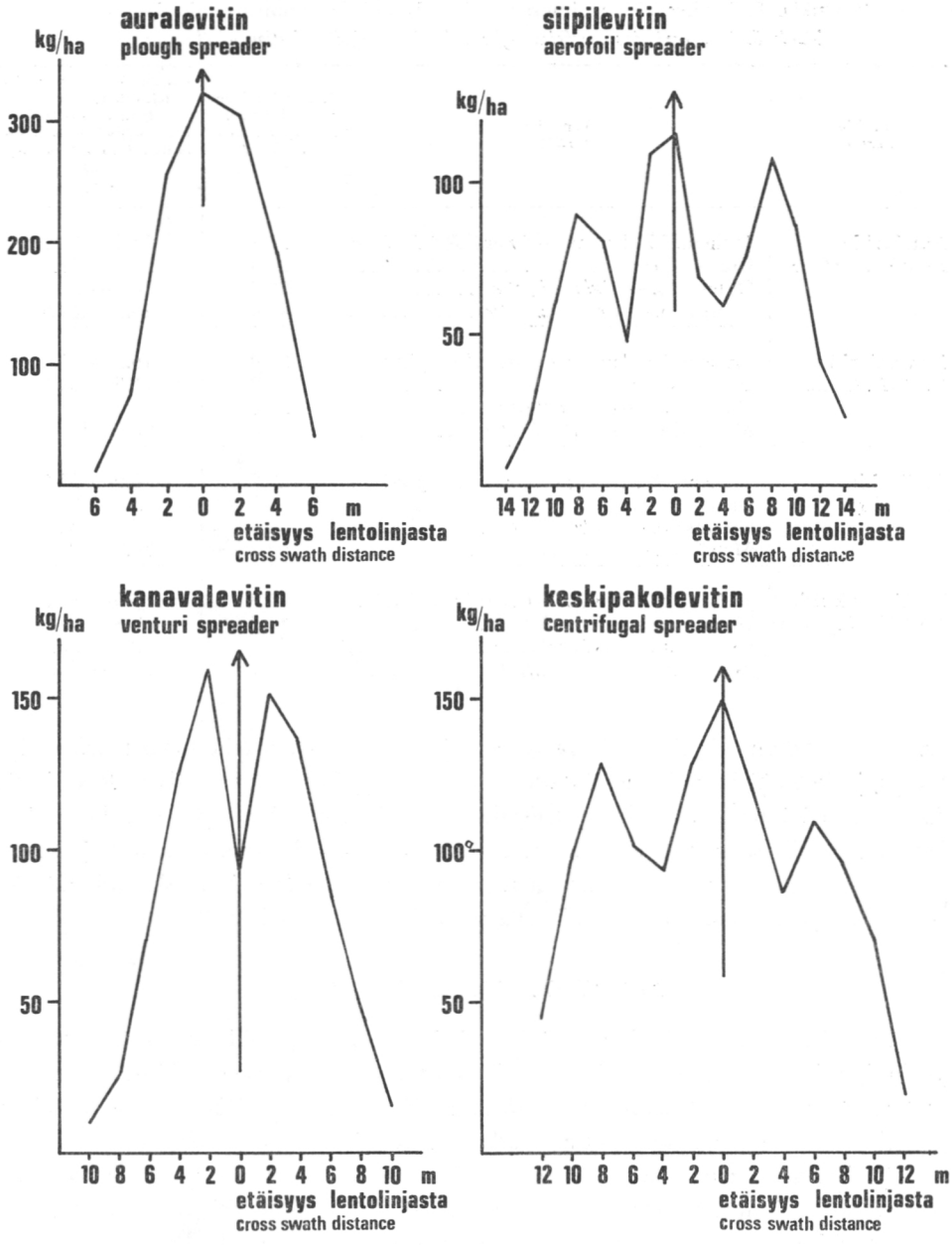
Levitin *Spreader*	Lannoite *Fertilizer*	Keskimääräinen variaatiokerroin *Average variation coefficient* (%)	Variaatiokertoimen vaihteluväli tehollisella levityskaistalla *The limits of the variation coefficient on the working swath* (%)
Auralevitin *Plough spreader*	Jauhem. PK-lannos — *Ground PK fertilizer*	23.7	13.5— 32.7
	Urea — *Urea*	27.3	20.9— 37.7
	Oulunsalp. — *Oulu saltpeter*	21.3	11.7— 32.4
	Metsäsalp. — *Forest saltpeter*	45.4	26.5— 69.9
Kanavalevitin *Venturi spreader*	Jauhem. PK-lannos — *Ground PK fertilizer*	33.9	16.2— 68.5
	Urea — *Urea*	29.8	11.5— 54.2
	Oulunsalp. — *Oulu saltpeter*	25.6	8.3— 46.4
	Metsäsalp. — *Forest saltpeter*	64.8	26.2—106.2
Siipilevitin *Aerofoil spreader*	Jauhem. PK-lannos — *Ground PK fertilizer*	23.1	8.9— 31.1
	Urea — *Urea*	16.0	3.0— 33.8
	Oulunsalp. — *Oulu saltpeter*	22.8	6.7— 34.5
	Metsäsalp. — *Forest saltpeter*	52.1	14.2— 96.0
Keskipakolevitin *Centrifugal spreader*	Jauhem. PK-lannos — *Ground PK fertilizer*	24.8	9.0— 39.8
	Urea — *Urea*	17.7	7.8— 27.7
	Oulunsalp. — *Oulu saltpeter*	20.4	9.7— 32.2
	Metsäsalp. — *Forest saltpeter*	64.7	14.4—107.9

leveys oli keskimäärin 28 m (kuva 10, s. 27). Levityskaistan tehollinen työskentelyleveys, jolle 80 % lannoitemäärästä levisi, oli 64.3 % koko levityskaistan leveydestä. Lannoitemäärä tehollisella levityskaistalla vaihteli n. 450 kg:sta/ha 670 kg:aan/ha, keskiarvon ollessa n. 550 kg/ha. Levityskaistan lannoitejakautuma lentolinjan suhteen oli melko symmetrinen, lentolinjan vasemmalla puolella kokonaislannoitemäärän ollessa 2.2 % suuremman kuin oikealla puolella (taulukko 7, s. 28).

512. Pienirakeisen lannoitteen levitys

Pienirakeisen urean levityksessä lannoitejakautuman profiili oli auralevittimellä yksihuippuinen kuten jauhemaisellakin lannoitteella. Levityskaista oli kuitenkin huomattavasti kapeampi, keskimäärin vain 16 m (kuva 11, s. 30). Koneen lentolinjalla lannoitemäärän maksimiarvo oli n. 280 kg/ha. Tehollinen levityskaista oli ainoastaan 37.5 % levityskaistan kokonaisleveydestä. Levityskaistan pituussuunnassa lannoitejakautuma oli jonkin verran epätasaisempi kuin jauhemaisen PK-lannoksen levityksessä, keskimääräisen variaatiokertoimen noustessa 27.3 %:iin (taulukko 8, s. 29).

Myös kanavalevittimellä levityskaista urean levityksessä jäi selvästi kapeammaksi kuin jauhemaisen lannoitteen levityksessä. Keskimäärin levityskaista oli 20 m leveä. Lannoitejakautuma levityskaistan poikkisuunnassa oli kaksihuippuinen, maksimilannoitemäärien ollessa n. kahden metrin etäisyydellä lentolinjasta sen molemmin puolin (kuva 11, s. 30).



Kuva 11. Lannoitejakautuma levityskaistan poikkisuunnassa urean levityksessä. Levittimenä auralevitin, kanavalevitin, siipilevitin ja keskipakolevitin. Lentokorkeus 15 m.

Figure 11. Lateral distribution of the swath of the plough, venturi, aerofoil and centrifugal spreader.. Urea as a fertilizer. Flying height 15 m.

Lannoitteesta 80 % levisi 10 m leveälle kaistalle, joten tehollisen levityskaistan osuus kokonaislevityskaistasta oli 50 %, kuten jauhemaisen lannoitteen levityksessäkin. Levityskaistan pituussuunnassa lannoitejakautuman variaatiokerroin oli 29.8 % (taulukko 8, s. 29).

Tilavuuspainoltaan kevyt, pienirakeinen urea soveltui hyvin siipilevittimelle. Levityskaista oli keskimäärin 28 m leveä ja lannoitejakautumaltaan tasapainoinen. Levityskaistan poikkisuunnassa lannoitejakautuman profiili oli kolmihuippuinen. Lannoitemäärä oli koneen lentolinjan kohdalla n. 120 kg/ha ja kahdeksan metrin päässä lentolinjan molemmilla puolilla sijaitsevissa lannoitejakautuman huipuissa n. 90—110 kg/ha (kuva 11, s. 30).

Tehollinen levityskaistan osuus kokonaislevityskaistasta oli siipilevittimellä selvästi suurempi kuin aura- tai kanavalevittimellä (taulukko 8, s. 29), joilla myös levityskaistan leveys jäi huomattavasti pienemmäksi. Myös levityskaistan pituussuunnassa lannoitejakautuma oli siipilevittimellä selvästi tasaisempi kuin aura- tai kanavalevittimellä keskimääräisen variaatiokertoimen jäädessä 16.0 %:iin (taulukko 8, s. 29).

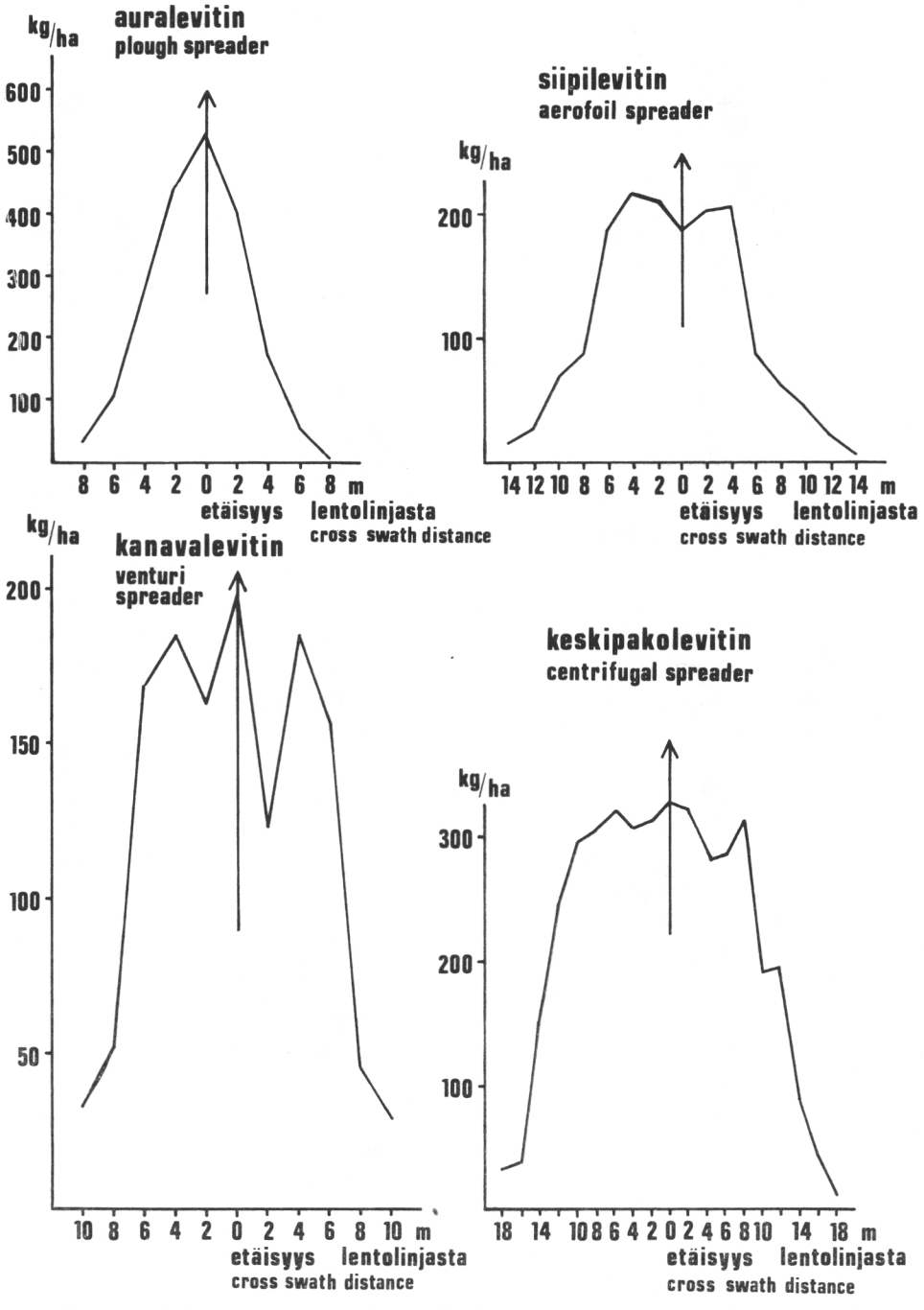
Keskipakolevitin soveltui myös hyvin pienirakeisen lannoitteen levitykseen. Levityskaistan leveys oli 24 m, maksimilannoitemäärän noustessa levityskaistan keskellä 150 kg:aan/ha. Lannoitejakautuma oli levityskaistan poikkisuunnassa kolmihuippuinen kuten siipilevittimelläkin (kuva 11, s. 30). Lannoitteesta 80 % levisi lentolinjan molemmin puolin alueelle, joka oli 61.5 % levityskaistan kokonaisleveydestä. Levityskaistan pituussuunnassa lannoitejakautuman hajontaa kuvaava keskimääräinen variaatiokerroin oli 17.7 % (taulukko 8, s. 29).

513. Keskisuurirakeisen lannoitteen levitys

Keskisuurirakeinen oulunsalpietari levisi auralevittimellä keskimäärin 16 m leveälle kaistalle. Lannoitetta oli eniten koneen lentolinjalla (n. 500 kg/ha). Lannoitejakautuma levityskaistan poikkisuunnassa oli harjamainen kuten jauhemaisen PK-lannoksen ja urean levityksessä (kuva 12, s. 32). Lannoitteesta 80 % levisi kaistalle, joka oli 37.5 % levityskaistan koko leveydestä. Lannoitemäärän hajontaa levityskaistan pituussuunnassa kuvaava keskimääräinen variaatiokerroin oli 21.3 % (taulukko 8, s. 29).

Oulunsalpietari levisi kanavalevittimellä yhtä leveälle kaistalle kuin ureakin (kuva 11, s. 30 ja kuva 12, s. 32). Lannoitejakautuma levityskaistan poikkisuunnassa oli kolmihuippuinen, lannoitemäärän maksimin ollessa koneen lentolinjalla n. 200 kg/ha. Tehollinen levityskaista, jolle 80 % lannoitteesta levisi oli 10 m leveä. Levityskaistan pituussuunnassa lannoitustasaisuutta kuvaava keskimääräinen variaatiokerroin oli 25.6 % (taulukko 8, s. 29).

Keskisuurirakeinen oulunsalpietari soveltui selvästi pienirakeista ureaa huonommin siipilevittimellä levitettäväksi. Levityskaista oli 28 m leveä (kuva 12, s. 32), kuten urean levityksessä. Lannoite keskittyi kuitenkin levityskaistan keskiosaan, jossa



Kuva 12. Lannoitejakautuma levityskaistan poikkisuunnassa oulunsalpietarin levityksessä. Levittiminä auralevitin, kanavalevitin, siipilevitin ja keskipakolevitin. Lentokorkeus 15 m.

Figure 12. Lateral distribution of the swath of the plough, venturi, aerofoil and centrifugal spreader. Oulu saltpeter as a fertilizer. Flying height 15 m.

lannoitemäärän maksimi (n. 220 kg/ha) olivat neljän metrin etäisyydellä koneen lentolinjasta. Tehollinen levityskaista jäi tällöin melko kapeaksi, keskimäärin vain 42.9 %:ksi levityskaistan kokonaisleveydestä. Levityskaistan pituussuunnassa oulunsalpietari sen sijaan levisi tasaisesti keskimääräisen variaatiokertoimen jäädessä 22.8 %:iin (taulukko 8, s. 29).

Keskipakolevitin osoittautui hyväksi myös keskisuurirakeisen lannoitteen levityksessä. Levityskaistan keskimääräinen leveys oli 36 m, ja tehollinenkin levityskaista oli 20 m leveä, joten yhdellä lentokerralla keskipakolevittimellä varustettu kone pystyi käsittelemään kaistan, johon muilla levitintyypeillä varustettu kone joutui suorittamaan kaksi lentoa (kuva 12, s. 32).

Lentolinjan suhteen levityskaistan lannoitejakautuma oli oulunsalpietarin levityksessä melko tasapainoinen, kokonaislannoitemäärästä 53.4 %:n levitessä lentolinjan vasemmalle puolelle. Lannoitemärän maksimi n. 330 kg/ha sijoittui levityskaistalla koneen lentolinjan kohdalle (kuva 12, s. 32). Levityskaistan pituussuunnassakin lannoitemäärän hajonta jäi pienemmäksi kuin muilla levittimillä, keskimäärin pituussuuntainen variaatiokerroin oli 20.4 % (taulukko 8, s. 29).

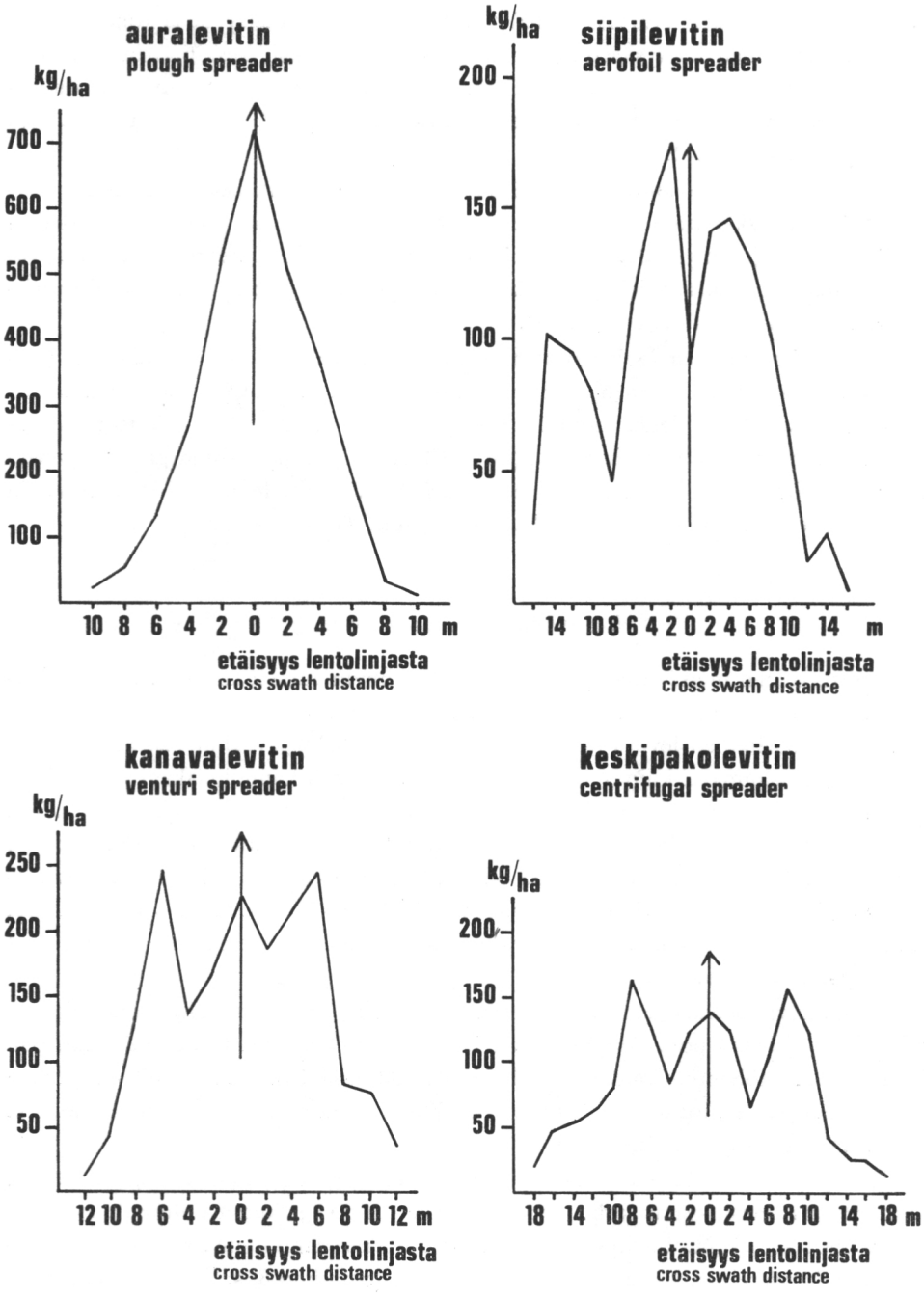
514. Suurirakeisen lannoitteen levitys

Suurirakeinen metsäsalpietari soveltui melko hyvin auralevittimelle. Raskaat lannoiterakeet saivat levittimen heittosiivistä voimakkaan sivuliikkeen, ja levityskaista, jonka keskimääräinen leveys oli 20 m, muodostui 66.7 %leveämmäksi kuin urealla ja 25.0 % leveämmäksi kuin oulunsalpietarin levityksessä. Lannoitejakautuma levityskaistan poikkisuunnassa oli harjamainen kuten muillakin lannoitteilla (kuva 13, s. 34). Lannoitetta oli eniten koneen lentolinjan alapuolella, jossa kokonaismäärä nousi n. 700 kg/ha. Tehollinen levityskaista oli 40.0 % kokonaislevityskaistasta. Levityskaistan pituussuunnassa lannoitejakautuman hajonta oli kuitenkin voimakkaampi kuin muilla testatuilla lannoitteilla variaatiokertoimen noustessa keskimäärin 45.4 %:iin (taulukko 8, s. 29).

Kanavalevittimellä suoritetuissa metsäsalpietarin levityskokeissa lannoitejakautuma levityskaistan poikkisuunnassa oli kolmihuippuinen kuten oulunsalpietarinkin levityksessä. Molemmin puolin lentolinjaa lannoitemäärä oli suurimmillaan kuuden metrin etäisyydellä, jossa lannoitetta oli n. 250 kg/ha, koneen lentolinjalla lannoitetta oli n. 230 kg/ha (kuva 13, s. 34).

Levityskaista oli keskimäärin 24 m leveä, tehollisen levityskaistan, jolle 80 % lannoitteesta levisi, osuus koko levityskaistasta oli 50 %, kuten oulunsalpietarin ja urean levityksessäkin. Levityskaistan pituussuunnassa lannoitemäärän hajontaa kuvaava keskimääräinen variaatiokerroin oli 64.8 % (taulukko 8, s. 29), hajonnan muodostuessa siis yli kaksinkertaiseksi ureaan ja oulunsalpietariin verrattuna.

Siipilevittimellä suurirakeisen metsäsalpietarin levitys ei onnistunut tyydyttävästi, sillä suuret, läpimitaltaan yli 10 mm olevat rakeet eivät mahtuneet levittimen



Kuva 13. Lannoitejakautuma levityskaistan poikkisuunnassa metsäsälpietarin levityksessä. Levittiminä auralevitin, kanavalevitin, siipilevitin ja keskipakolevitin. Lentokorkeus 15 m.

Figure 13. Lateral distributior of the swath of the plough, venturi, aerofoil and centrifugal spreader. Forest saltpeter as a fertilizer. Flying height 15 m.

rei'itetyn ylätason läpi, vaan levisivät pääasiallisesti levittimen kärkien kautta. Levityskaistan kokonaisleveys oli keskimäärin 32 m. Lannoitemäärän maksimi levityskaistan keskiosassa oli n. 170 kg/ha, kokonaisuudessaan levityskaistan poikkisuuntainen lannoitejakautuma oli epäyhtenäinen ja voimakkaasti vaihteleva (kuva 13, s. 34).

Koska suuri osa lannoitteesta levisi siipilevittimen kärkien kautta, oli lannoitemäärä levityskaistan reunoillakin korkeahko ja tehollinen levityskaistakin muodostui leveäksi, käsittäen 62.5 % koko levityskaistasta. Levityskaistan pituussuunnassa levittimen vajaatoiminta aiheutti kuitenkin voimakasta hajontaa lannoitemäärissä ja keskimäärin variaatiokerroin nousi 52.1 %:iin (taulukko 8, s. 29).

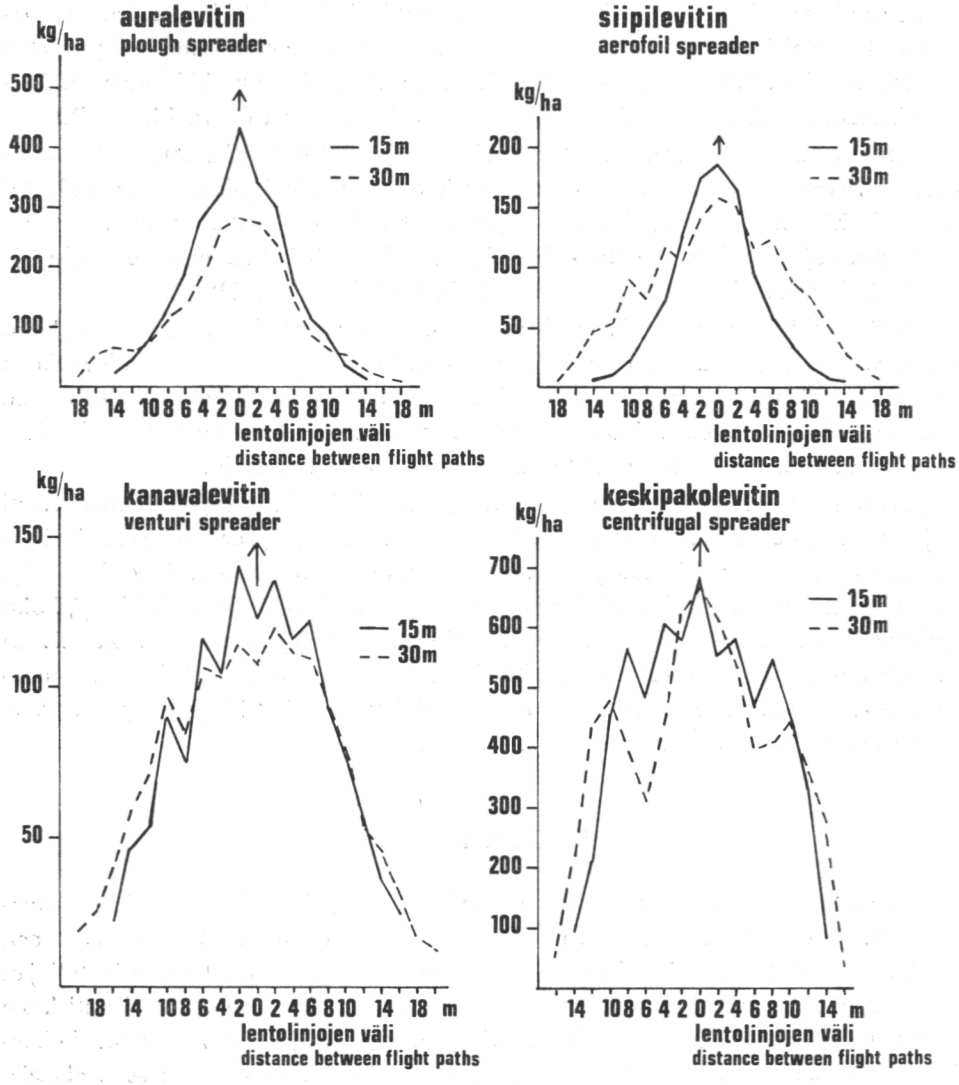
Myös keskipakolevittimellä suoritetuissa kokeissa metsäsalpietarin suuri raekoko tuotti vaikeuksia, sillä suuret rakeet murskautuivat helposti keskipakolevittimen heittopyörässä. Lisäksi osa suurista rakeista sai levittimen heittopyörästä niin suuren lähtönopeuden, että ne voimakkaasti vastaisesta ilmavirrasta huolimatta lensivät koneen etusektoriin ja osuivat sitten koneen runkoon ja tasoihin.

Levityskaista oli keskimäärin 36 m leveä, mutta hajarakeita löytyi huomattavasti laajemmaltakin alueelta. Lannoitemäärän maksimit (n. 160 kg/ha) sijaitsivat levityskaistalla kahdeksan metrin etäisyydellä lentolinjan molemmin puolin (kuva 13, s. 34). Lannoitteesta 80 % levisi lentolinjan molemmin puolin alueelle, joka oli 55.6 % koko levityskaistasta. Levityskaistan pituussuuntaisessa lannoitejakautumassa oli selvästi havaittavissa, että suurirakeinen lannoite ei soveltunut keskipakolevittimelle. Pituussuuntaista lannoitustasaisuutta kuvaava variaatiokerroin oli 64.7 % eli yli 2.5 kertainen muihin lannoitteisiin verrattuna (ks. taulukko 8, s. 29).

52. Lentokorkeus

Metsänlannoituksessa lentokorkeuden valinta riippuu lannoitettavan alueen puuston valtapituudesta. Käytännössä tavoitteena on, että kone lentää mahdollisimman lähellä puiden latvustoa, jolloin lannoite putoaa nopeasti maahan koneen lentolinjan tuntumaan eikä tuuli pääse aiheuttamaan kovin suurta ajautumaa. Tavallisesti kone joutuu kuitenkin noudattamaan lentokorkeutta, joka on jonkin verran tavoitekorkeutta suurempi, sillä lannoitettavan alueen mahdolliset reunaesteet sekä alueella muita pitemmät valtapuut ja aina matalalla esiintyvät pystysuuntaiset ilmavirrat pakottavat lentäjän käyttämään lentokorkeutta, mikä säilyttää n. 5—10 metrin varmuusetäisyyden puiden latvustoon. Käytännössä lentokorkeudet taimikoiden ja riukuasteen puustojen lannoituksessa ovatkin n. 10—15 ja päätehakkuukypsien puustojen lannoituksessa n. 25—35 metriä.

Käsillä olevassa tutkimuksen levityskokeissa valittiin lentokorkeuksiksi 15 m ja 30 m, jotka vastaavat käytännön lentokorkeuksia. Kolmantena lentokorkeutena oli »yläkorkeus» 60 m, jolla pyrittiin selvittämään kuinka hyvin 3—5 sekuntia vapaasti putoava lannoitevana säilyi koneen aiheuttamissa pyörteissä ja maanpinnan lähellä esiintyvissä ilmavirtauksissa.



Kuva 14. Lentokorkeuden vaikutus levityskaistan lannoitejakautumaan jauhemaisen PK-lannoksen levityksessä. Levittimenä aura-, kanava-, siipi- ja keskipakolevitin. Lentokorkeutena 15 ja 30 m.
Figure 14. Effect of flying height on swath distribution pattern when spreading ground PK fertilizer with plough, venturi, aerofoil and centrifugal spreader. Flying height 15 and 30 m.

521. Jauhemaisen lannoitteen levitys

Jauhemaisen PK-lannoksen levityksessä lentokorkeuden lisääminen 15 metristä 30 metriin tasoitti lannoitejakautumaa levityskaistan poikkisuunnassa. Varsinkin potkuri- ja ilmavirralla toimivilla levittimillä lannoitemäärän maksimi pieneni huomattavasti. Aura- ja siipilevittimellä lannoitemäärä levityskaistan keskiosassa laski

Taulukko 9. Tehollisen levityskaistan osuus kokonaislevityskaistasta
Table 9. Working swath expressed in percentage of the width of the swath

Lannoite *Fertilizer*	Levitin *Spreader*	Lentokorkeus — *Flying height*					
		15 m		30		60 m	
		Levityskaista *Width of the swath* [m]	Tehollinen levityskaista % levityskaistasta *Working swath % of the swath*	Levityskaista *Width of the swath* [m]	Tehollinen levityskaista % levityskaistasta *Working swath % of the swath*	Levityskaista *Width of the swath* [m]	Tehollinen levityskaista % levityskaistasta *Working swath % of the swath*
Jauhemainen PK-lannos *Ground PK fertilizer*	Auralevitin — *Plough spreader*	28	42.9	36	44.0	—	—
	Kanavalevitin — *Venturi spreader*	32	50.0	40	55.0	—	—
	Siipilevitin — *Aerofoil spreader*	28	35.6	36	50.0	—	—
	Keskipakolevitin — *Centrifugal spreader*	28	64.3	32	64.3	—	—
Urea *Urea*	Auralevitin — *Plough spreader*	12	37.5	16	50.0	16	50.0
	Kanavalevitin — *Venturi spreader*	20	50.0	20	50.0	24	50.0
	Siipilevitin — *Aerofoil spreader*	28	57.1	28	60.0	30	64.3
	Keskipakolevitin — *Centrifugal spreader*	24	61.5	28	62.5	32	64.3
Oulunsalpietari *Oulu saltpeter*	Auralevitin — *Plough spreader*	16	37.5	20	40.8	24	50.0
	Kanavalevitin — *Venturi spreader*	20	50.0	24	50.0	28	50.0
	Siipilevitin — *Aerofoil spreader*	28	42.9	32	43.8	32	50.0
	Keskipakolevitin — *Centrifugal spreader*	36	55.6	40	55.0	44	54.5
Metsäsalpietari *Forest saltpeter*	Auralevitin — *Plough spreader*	20	40.0	24	41.7	28	42.9
	Kanavalevitin — *Venturi spreader*	24	50.0	24	66.7	24	66.7
	Siipilevitin — *Aerofoil spreader*	32	62.5	32	62.5	32	62.5
	Keskipakolevitin — *Centrifugal spreader*	36	55.6	44	72.7	48	70.8

lähes 30 % ja kanavalevittimellä levityskaistan maksimilannoitemäärä oli n. 15 % pienempi kuin levityskokeissa, joissa lentokorkeutena oli 15 m. Keskipakolevittimellä lentokorkeuden muutos ei sen sijaan vaikuttanut juuri lainkaan levityskaistan poikkisuuntaisen lannoitejakautuman profiiliin tai lannoitemäärään (kuva 14, s. 36).

Lentokorkeuden muutos 15 metristä 30 metriin lisäsi jauhemaisen lannoitteen levityksessä kaikkien levitintyyppien levityskaistaa. Potkuri- ja ilmavirralla toimivilla aura-, kanava- ja siipilevittimillä lisäys oli n. 30 % (taulukko 9, s. 37). Keskipakolevittimellä jauhemaisen lannoitteen levityskaista levisi vajaat 15 %, kun lentokorkeus nousi 30 metriin.

Kokonaislevityskaistan laajetessa myös tehollinen levityskaista laajeni. Potkuri- ja ilmavirralla toimivista levittimistä aura- ja kanavalevittimillä, jotka toimivat normaalisti jauhemaisen lannoitteen levityksessä, tehollisen levityskaistan osuus kokonaislevityskaistasta oli 2—5 % suurempi kuin käytettäessä 15 metrin levityskorkeutta (taulukko 9, s. 37).

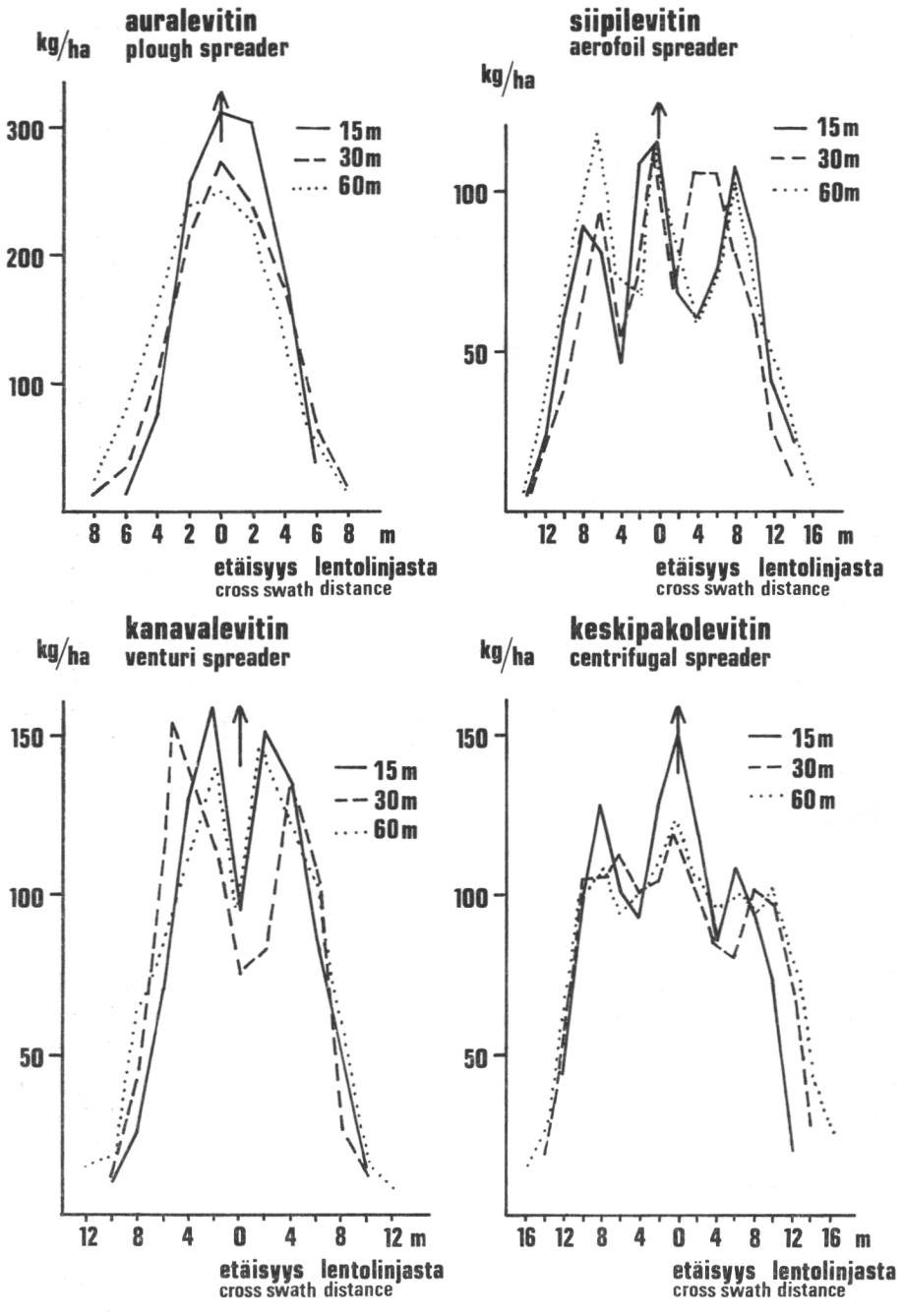
Myös keskipakolevittimellä lentokorkeuden lisäyksen vaikutus tahollisen levityskaistan osuuteen kokonaislevityskaistasta jäi vähäiseksi (taulukko 9, s. 37). Siipilevittimellä tehollinen levityskaistan osuus kokonaislevityskaistasta taas lisääntyi n. 15 %, kun lentokorkeus nostettiin 30 metriin. Koska levitin oli osittain vajaatoiminen jauhemaisen lannoitteen levityksessä, suurin osa lannoitteesta jäi levityskaistan keskiosaan. Kun sitten lentokorkeus lisääntyi ja lannoitteen putoamisaika kasvoi, lannoitevana tasoittui huomattavasti koneen jättövirtauksissa (kuva 14, s. 36).

522. Pienirakeisen lannoitteen levitys

Pienirakeisen urean levityksessä lentokorkeuden noston vaikutus levityskaistan lannoitejakautumaan oli huomattavasti vähäisempi kuin jauhemaisella lannoitteella. Kaikilla levitintyypeillä lannoitejakautuma tosin tasoittui levityskaistan poikkisuunnassa, mutta auralevitintä lukuun ottamatta muutokset olivat melko pieniä.

Lentokorkeuden nosto 15 metristä 30 metriin vähensi auralevittimen levityskaistan keskiosissa lannoitemäärää n. 20 %:lla ja myös keskipakolevittimen levityskaistalla maksimiarvot laskivat n. 15 %:iin, kanava- ja siipilevittimellä lannoitemäärän muutokset jäivät alle 10 %:n (kuva 15, s. 39). Kun lentokorkeutta nostettiin 30 metristä 60 metriin, lannoitemäärä auralevittimen levityskaistalla laski jälleen n. 20 %:lla, kanava-, siipi- ja keskipakolevittimen levityskaistalla muutokset sen sijaan jäivät varsin pieniksi (kuva 15, s. 39).

Levityskaistan leveyteen lentokorkeuden nostolla oli suurin vaikutus pienirakeisen urean levityksessä aura- ja keskipakolevittimellä. Kun lentokorkeus oli 30 m, auralevittimen levityskaista oli n. 30 % ja keskipakolevittimen n. 15 % leveämpi kuin käytettäessä 15 metrin lentokorkeutta (taulukko 9, s. 37). Kanava- ja siipilevittimestä sinkoutuvat pienet urearakeet saavuttivat sen sijaan nopeasti suurimman leviämisalueensa, sillä lentokorkeuden lisäys 15 metristä 30 metriin ei aiheuttanut muutosta levityskaistan leveyteen. Kun lentokorkeutta lisättiin 30 metristä 60 metriin levitys-



Kuva 15. Lentokorkeuden vaikutus levityskaistan lannoitejakautumaan pienirakeisen urean levityksessä. Levittimenä aura-, kanava-, siipi- ja keskipakolevitin. Lentokorkeudet 15, 30 ja 60 m.

Figure 15. Effect of flying height on swath distribution pattern when spreading finely granulated urea with plough, venturi, aerofoil and centrifugal spreader. Flying heights 15, 30 and 60 m.

kaista leveni myös kanava- ja siipilevittimellä hiukan, mutta lähinnä tämä johtui siitä, että levityskaistan reunoihin muodostui hajarakeista huntu, jossa lannoitemäärä oli n. 10—20 kg/ha (kuva 15, s. 39). Auralevittimellä lentokorkeuden nosto 30 metristä 60 metriin ei enää laajentanut levityskaistaa, keskipakolevittimellä levityskaistan leveys lisääntyi vielä 15 %:lla (kuva 15, s. 39).

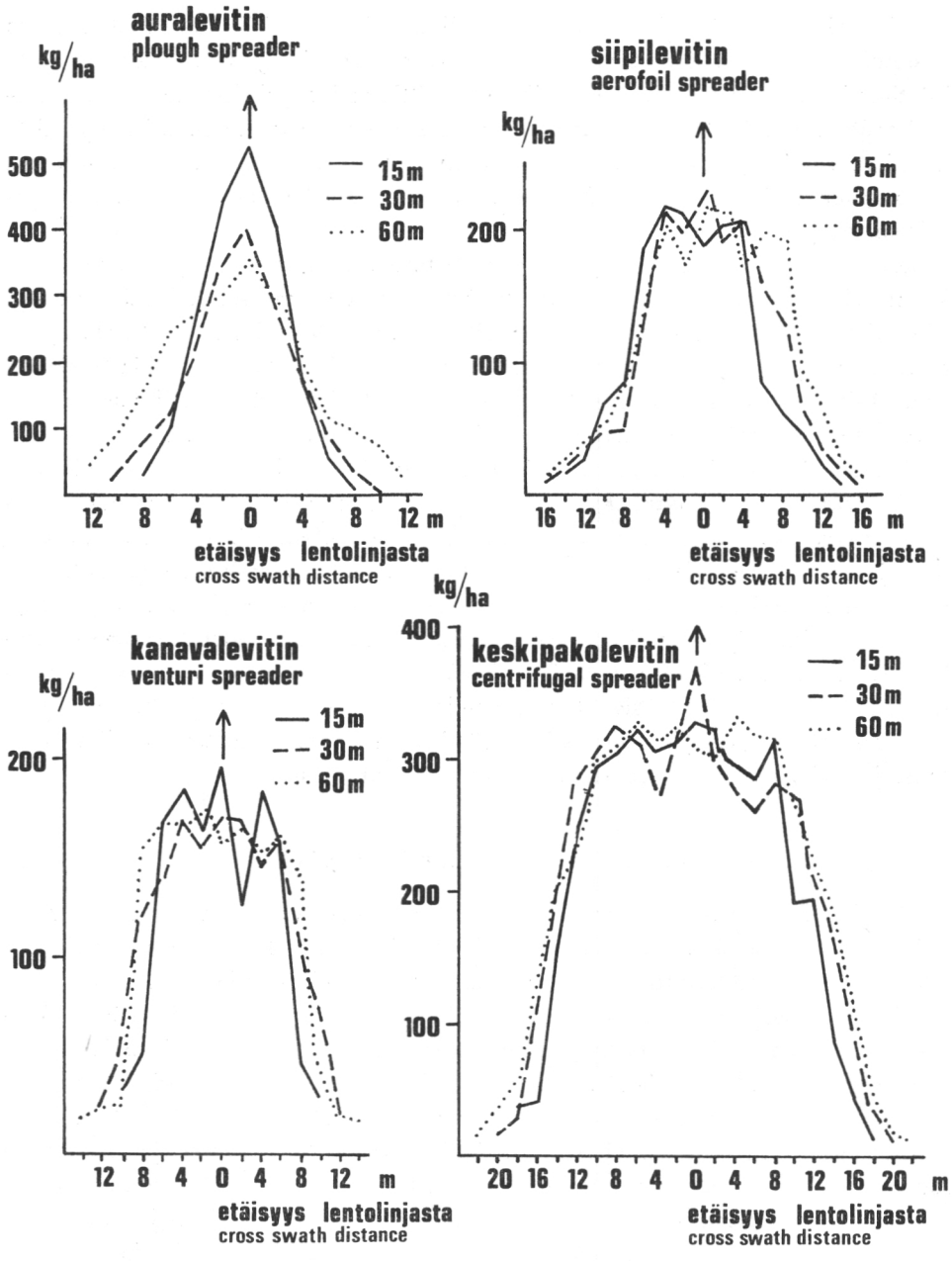
Pienirakeisen urean levityksessä lentokorkeuden nosto lisäsi etenkin auralevittimellä tehollisen levityskaistan osuutta kokonaislevityskaistasta. Kun lentokorkeutena oli 15 m, auralevittimen levityskaista oli 12 m leveä ja tehollisen levityskaistan osuus oli 37.5 % (taulukko 9, s. 37). Suoritettaessa lannoitteen levitys 30 metrin korkeudesta lannoite levisi auralevittimellä 16 m leveälle kaistalle, tehollisen levityskaistan noustessa 50 %:iin koko levityskaistasta. Siipi- ja keskipakolevittimellä lentokorkeuden nosto 15 metristä 30 metriin lisäsi tehollisen levityskaistan osuutta 1—2 %, kanavalevittimellä tehollisen levityskaistan osuus sen sijaan pysyi vakiona (taulukko 9, s. 37).

Lentokorkeuden kohottaminen 30 metristä 60 metriin ei enää vaikuttanut tehollisen levityskaistan osuuteen kokonaislevityskaistasta auralevittimellä ja myös kanavalevittimellä tehollisen levityskaistan osuus pysyi vakiona, vaikka kokonaislevityskaista hieman levenikin (taulukko 9, s. 37). Siipi- ja keskipakolevittimen levityskaistalla lannoitejakautuma tasoittui vielä hiukan, kun lentokorkeutta nostettiin 30 metriä, samalla myös tehollisen levityskaistan osuus kokonaislevityskaistasta lisääntyi nousten molemmilla levitintyypeillä 64.3 %:iin. Käytäntöä ajatellen 60 metrin lentokorkeus oli pienirakeisen lannoitteen levityksessä liian suuri, sillä levitysalueella heikotkin ilmavirtaukset pyrkivät hajoittamaan lannoitevanan, jonka putoaminen kesti useita sekunteja.

523. Keskisuurirakeisen lannoitteen levitys

Keskisuurirakeinen oulunsalpietari jakautui kaikilla levityslaitteilla hyvin levityskaistan poikkisuunnassa. Lentokorkeuden nosto 15 metristä 30 metriin ja edelleen 60 metriin ei aiheuttanut juuri lainkaan muutoksia levityskaistan poikkisuuntaisen lannoitejakautuman maksimilannoitemäärään siipi-, kanava- ja keskipakolevittimillä (kuva 16, s. 41). Auralevittimellä lentokorkeuden nosto 15 metristä 30 metriin pienensi levityskaistan keskiosassa maksimilannoitemäärää n. 20 % kuten pienirakeisen lannoitteen levityksessäkin. Lentokorkeuden nosto vielä 30 metrillä tasoitti edelleen selvästi lannoitejakautumaa, maksimilannoitemäärän laskiessa kuitenkin vain n. 15 % (kuva 16, s. 41).

Levityskaistan leveyteen lentokorkeuden lisääntymisellä oli voimakas vaikutus varsinkin auralevittimellä, jolla lentokorkeuden nosto 15 metristä 30 metriin levensi levityskaistaa n. 25 % ja lentokorkeuden noustessa 60 metriin levityskaista laajeni vielä n. 20 %:lla. Kanavalevittimellä lentokorkeuden nosto 15 metrin peruslentokorkeudesta 30 metrin korkeuteen levensi levityskaistaa n. 20 % ja siirryttäessä 60 metrin »yläkorkeuteen» levityskaistan leveys lisääntyi vielä n. 15 % (kuva 16, s. 41).



Kuva 16. Lentokorkeuden vaikutus levityskaistan lannoitejakautumaan keskisuurirakeisen oulunsalpietarin levityksessä. Levittimenä aura-, kanava-, siipi- ja keskipakolevitin. Lentokorkeudet 15, 30 ja 60 m.

Figure 16. Effect of flying height on swath distribution pattern when spreading with medium sized grains. Fertilizer was spread with plough, venturi, aerofoil and centrifugal spreader. Flying heights 15, 30 and 60 m.

Keskipakolevittimellä levityskaistan leveys lisääntyi n. 10 %:lla, kun lentokorkeus nostettiin 15 metristä 30 metriin ja samaa luokkaa lisäys oli myös kun lentokorkeutta lisättiin vielä 30 metriä (kuva 16, s. 41). Siipilevittimen levityskaistan leveyteen lentokorkeuden muutokset vaikuttivat vähemmän kuin muilla levittimillä. Levityskaista leveni n. 15 %:lla, kun lentokorkeus nostettiin 15 metristä 30 metriin, sen sijaan lentokorkeuden korottaminen 30 metristä 60 metriin ei aiheuttanut muutosta levityskaistan leveyteen.

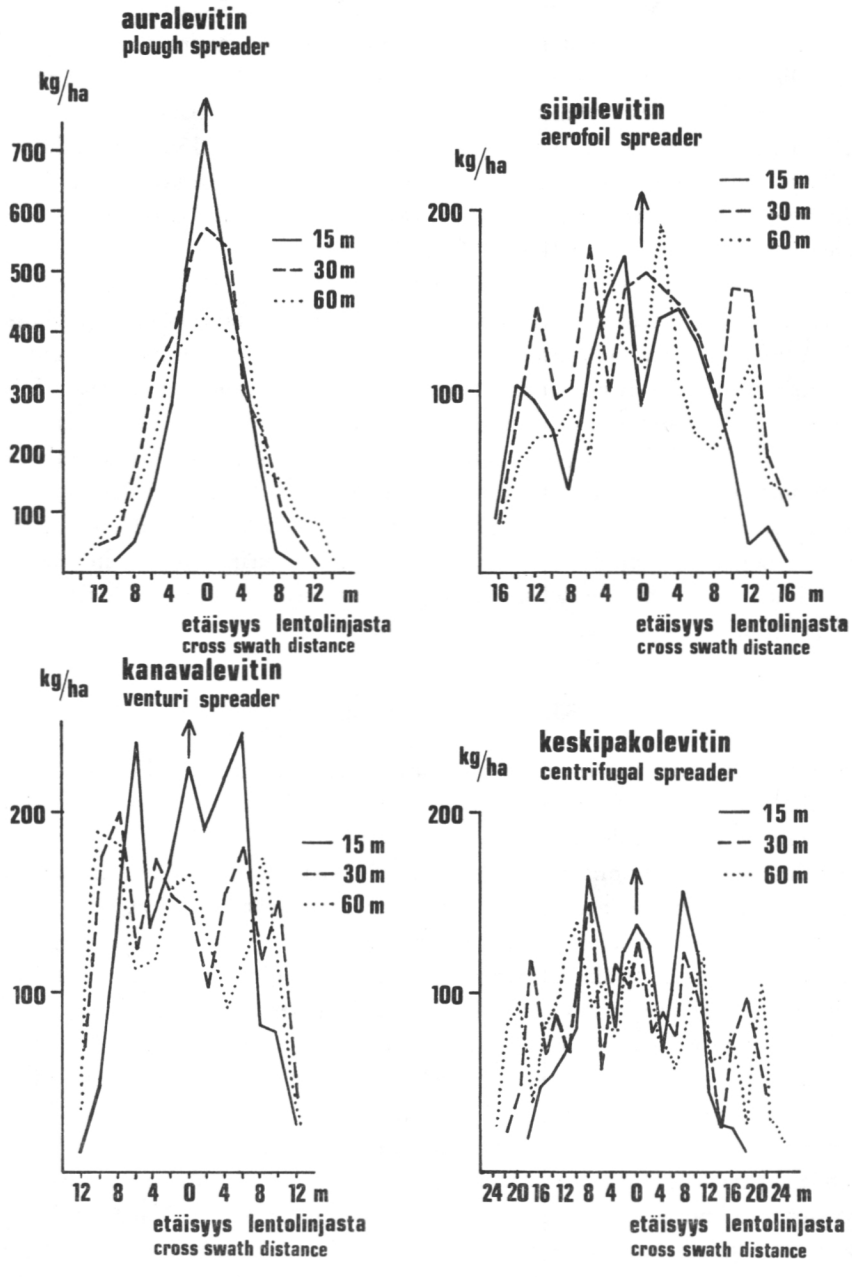
Keskisuurirakeista oulunsalpietaria käytettäessä tehollisen levityskaistan osuus kokonaislevityskaistasta lisääntyi lentokorkeutta nostettaessa selvästi vain aura- ja siipilevittimellä. Kanava- ja keskipakolevittimellä tehollisen levityskaistan leveyden muutokset myötäilivät kokonaislevityskaistan muutoksia melko tarkasti ja tehollisen levityskaistan osuus kokonaislevityskaistasta pysyi levityskorkeuden lisääntymisestä huolimatta lähes vakiona molemmilla levittimillä (taulukko 9, s. 37).

Lentokorkeuden kohottaminen 15 metrin peruskorkeudesta 30 metriin ei aura- ja siipilevittimelläkään lisännyt tehollisen levityskaistan osuutta kokonaislevityskaistasta samassa määrin kuin pienirakeisen lannoitteen levityksessä (taulukko 9, s. 37). Sen sijaan lentokorkeuden kohottaminen 30 metristä 60 metriin lisäsi auralevittimellä tehollisen levityskaistan osuutta kokonaislevityskaistasta 40.8 %:sta 50.0 %:iin ja siipilevittimellä lisäys oli yli 6 %, tehollisen levityskaistan osuuden kokonaislevityskaistasta kasvaessa 43.8 %:sta 50.0 %:iin. Lentokorkeutena 60 m oli keskisuurirakeisen lannoitteen levityksissä täysin mahdollinen käytäntöäkin ajatellen, sillä lannoitevana säilyi hyvin yhtenäisenä ja selvärajaisena koneen aiheuttamissa ilmapyörteissä ja levitysalueella ilmenneissä heikoissa ilmavirtauksissa.

524. Suurirakeisen lannoitteen levitys

Suurirakeisen metsäsalpietarin levitys onnistui hyvin vain auralevittimellä. Lannoitejakautuma oli sillä hyvin säännönmukainen ja lentokorkeuden noston vaikutus lannoitejakautuman tasoittumiseen oli samaa luokkaa kuin muidenkin koelannoitteiden levityksessä. Lentokorkeuden kohottaminen 15 metristä 30 metriin vähensi lannoitemäärän maksimia levityskaistan keskiosassa n. 20 % ja 60 metrin »yläkorkeuteen» siirryttäessä lannoitejakautuman maksimiarvo pieneni vielä n. 25 % (kuva 17, s. 43). Kanavalevittimellä lentokorkeuden korottaminen 15 metristä 30 metriin alensi lannoitemäärän maksimin levityskaistan keskiosissa n. 25 %. Siipi- ja keskipakolevittimellä lentokorkeuden vaikutus lannoitejakautumaan jäi vähäiseksi. Levitinlaitteiden vajaavaisesta toiminnasta johtuen lannoitejakautuma siipi- ja keskipakolevittimellä kuten kanavalevittimelläkin oli erittäin voimakkaasti vaihteleva levityskaistan poikkisuunnassa, eikä lentokorkeuden lisäyskään tasoittanut voimakasta hajontaa (kuva 17, s. 43).

Levityskaistan leveyteen lentokorkeuden vaikutus siipi- ja kanavalevittimellä jäi suurirakeisen metsäsalpietarin levityksessä olemattomaksi. Varsinaisen levityskaistan ulkopuolella näillä levittimillä kuitenkin syntyi lentokorkeutta nostettaessa epäyhte-



Kuva 17. Lentokorkeuden vaikutus levityskaistan lannoitejakautumaan suurirakeisen metsäsalpietarin levityksessä. Levittimenä aura-, kanava-, siipi- ja keskipakolevitin. Lentokorkeudet 15, 30 ja 60 m.

Figure 17. Effect of flying height on swath distribution pattern when spreading coarsely granulated forest saltpeter with plough, venturi, aerofoil ana centrifugal spreader. Flying heights 15, 30 and 60 m.

näinen 2—4 m leveä lannoitehuntu, jossa lannoitemäärä oli n. 5—10 kg/ha. Keskipakolevittimellä suoritetuissa levityskokeissa syntyi samoin varsinaisen levityskaistan ulkopuolelle leveähkö epäyhtenäinen lannoitehuntu, mutta lentokorkeuden suurentaminen laajensi myös levityskaistaa. Auralevittimellä levityskaista pysyi levityskorkeutta suurennettaessa selvärajaisena ja lentokorkeuden nosto 15 metristä 30 metriin laajensi sitä n. 20 %:lla kuten keskipakolevittimelläkin. Lentokorkeuden lisäys 60 metriin levensi auralevittimellä levityskaistaa vielä n. 15 %, keskipakolevittimellä lisäyksen jäädessä n. 10 %:iin (kuva 17, s. 43).

Tehollisen levityskaistan osuus kokonaislevityskaistasta oli suurirakeisella metsäsalpietarilla suoritetuissa kokeissa kaikilla levittimillä varsin korkea (taulukko 9, s. 37). Auralevittimellä tehollisen levityskaistan kehitys suurirakeisen lannoitteen levityksessä poikkesi selvästi muilla rakeistetuilla lannoitteilla saaduista tuloksista, sillä lentokorkeuden lisäys ei vaikuttanut juuri lainkaan tehollisen levityskaistan osuuteen kokonaislevityskaistasta (taulukko 9, s. 37). Myös kanava- ja keskipakolevittimellä tehollisen levityskaistan osuus kokonaislevityskaistasta lisääntyi lentokorkeutta kohotettaessa ja kehitys poikkesi näin totutusta, sillä näillä levittimillä lentokorkeuden lisäys ei jauhemaisen lannoitteen eikä pieni- tai keskisuurirakeisen lannoitteen levityksessä juuri muuttanut tehollisen levityskaistan osuutta kokonaislevityskaistasta (taulukko 9, s. 37).

53. Lentokoneen asento

Lannoituslentokoneissa levitin oli asennettu koneen rungon alle lannoitesäiliön alapuolelle. Levittimen kiinnitys oli jäykkä, joten levittimen asento vastasi koneen asentoa kaikissa lentotiloissa.

Lentolinjan pituussuunnassa koneen liike oli hieman aaltomainen, mutta koneen liikesuunnan ja maanpinnan väliset kohtauskulmat pysyivät hyvin loivina. Levittimen toimintaan lentokoneen aaltomaisella liikeradalla ei ollut vaikutusta ja levityskaistan pituussuuntaisen lannoitejakautuman osalta sen mahdollinen vaikutus peittyi hajontaan, joka aiheutui itse levittimestä, käytetystä lannoitteesta ja lannoitevanaan vaikuttavista ilmavirroista. Myöskään levityskaistan leveyteen tai poikkisuuntaiseen lannoitejakautumaan ei koneen aaltomaisella liikeradalla havaittu olevan vaikutusta, mikäli lentokorkeuden vaihtelu jäi $\pm$ 10 %:iin tavoitelentokorkeudesta.

Levityskokeissa, joissa selvitettiin testattavien levittimien levityskaistan leveyttä ja lannoitejakautumaa lentokoneen lentosuunnassa ei sallittu muutoksia ja koneen asento pyrittiin sivusuunnassa pitämään täysin vakaana. Käytännön lannoitustyössä levitystä suorittavan koneen lentosuunta ja samalla myös lentoasento saattoi vaihdella jonkin verran mikäli kone pyrki seuraamaan lannoitettavan kuvion mutkittelevaa reunaviivaa. Tämän seurauksena levityskaistan lannoitejakautumassa ja leveydessä oli koneen lentosuunnassa havaittavissa selviä eroja.

Tässä tutkimuksessa levityskaistan lannoitejakautumaan ja leveyteen koneen vaakatasossa tapahtuvasta liikehdinnästä aiheutuvia muutoksia selvitettiin auralevitti-

mellä varustetulla lannoituslentokoneella. Kokeissa koneen lentolinja pidettiin suorana, mutta mittauskentän ylityksen ajaksi kone kallistettiin 20° ja oikaistiin jälleen kentän ylityksen jälkeen. Koelennot suoritettiin sekä vasenta että oikeaa kallistusta käyttäen, lisäksi suoritettiin vertailulennot vaakalentona, toistojen lukumäärän kaikissa lentoasennoissa ollessa 4 (taulukko 4, s. 17). Käytetty 20° kallistuskulma oli sama kuin loivassa ns. mittarikaarrossa (ks. liite 2) käytettävä kallistus, jonka suuruus vastaa raskaasti kuormatun lentokoneen liikehdinnässä kyseeseen tulevia kallistuskulmia. Lannoitteena näissä kokeissa käytettiin oulunsalpietaria ja lannoitteen levitys suoritettiin 15 metrin, 30 metrin ja 60 metrin lentokorkeudelta (kuva 18, s. 46).

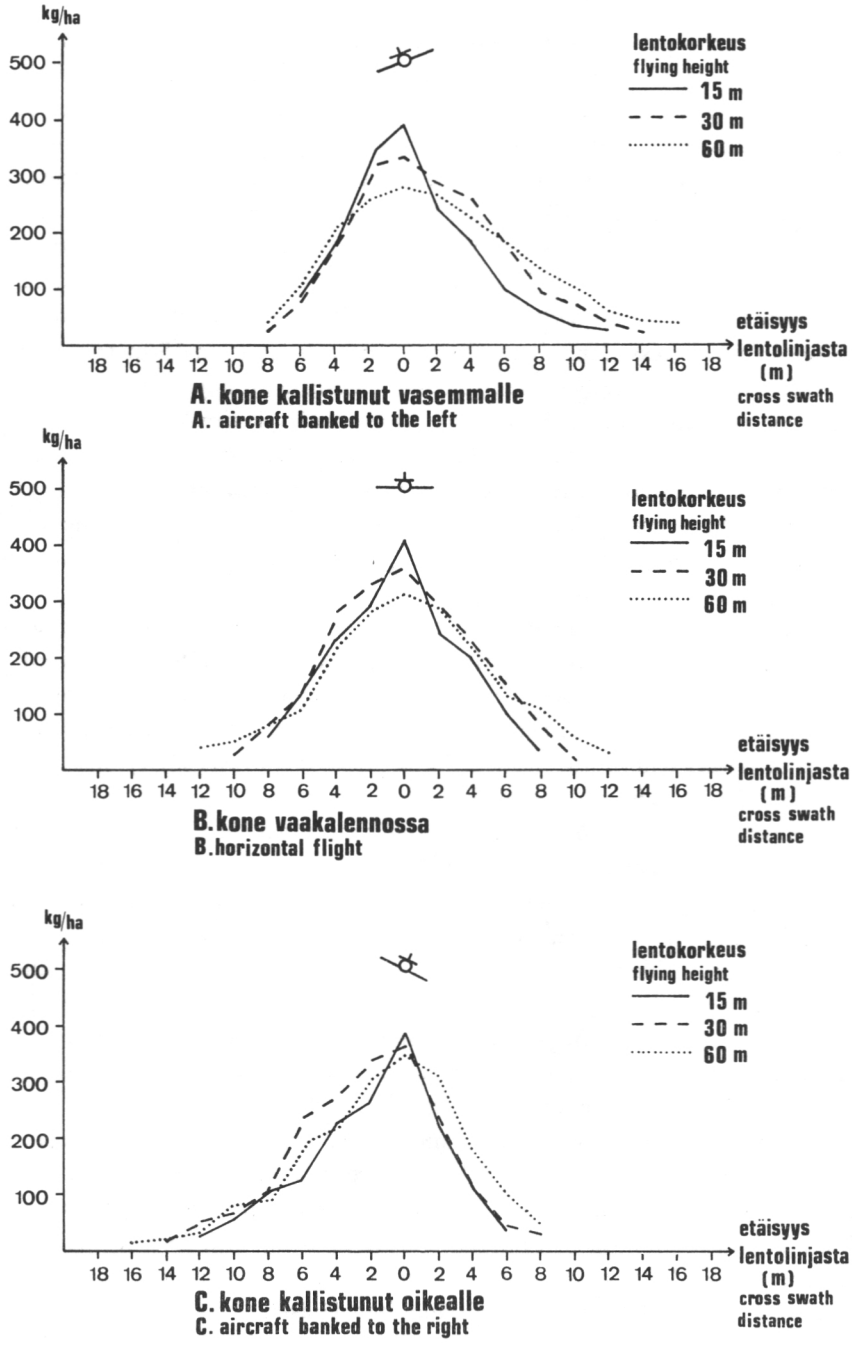
Koneen suorittaessa lannoitteen levityksen vaakalennosta 15 metrin korkeudella, levitysaikaista ulottui n. kahdeksan metrin päähän lentolinjan molemmille puolille. Kun kone kallistui edestä katsottuna vasemmalle, levityskaistan kokonaisleveys lisääntyi pari metriä, mutta lannoitepeitto ulottui enää kuuden metrin päähän lentolinjan vasemmalle puolelle levityskaistan oikean puolen muodostuessa kaksi kertaa leveämmäksi kuin vasen (kuva 18, s. 46). Vastaavasti koneen kallistuessa oikealle, levityskaistan oikea puoli kapeni ja vasen puoli laajeni kaksi kertaa oikeaa leveämmäksi (kuva 18, s. 46).

Lentokorkeuden nostaminen 30 metriin ja edelleen 60 metriin levensi lannoitteen leviämiskaistaa vaakalennossa suoritetuissa levityskokeissa. Samoin leveni levityskaista myös, kun koneen asento poikkesi vaaka-asennosta, mutta lentokorkeudesta riippumatta lannoite levisi koneen kallistussuunnan puoleiselle kaistalle, jonka leveys oli vain n. puolet lentolinjan vastakkaisella puolella olevasta levityskaistan osasta eli n. 1/3 koko levityskaistasta (kuva 18, s. 46).

Levityskaistan poikkisuuntaisen lannoitejakautuman profiiliin koneen lentoasennon vaikutus oli selvästi havaittavissa. Koneen lentoasennosta ja lentokorkeudesta riippumatta levityskaistan lannoitejakautuma oli kartiomainen ja sen maksimi oli koneen lentolinjan kohdalla. Koneen kallistuessa sen alemmaksi joutuvan siiven (kallistuksen) puoleinen levityskaistan osa kapeni (kuva 18, s. 46), mutta sille leviävä lannoitemäärä pysyi lähes ennallaan, joten lannoitejakautuman profiili jyrkkeni huomattavasti. Vastakkaisella puolella lentolinjaa lannoitejakautuman profiili taas loiveni, sillä siellä lannoitepeitto leveni, lannoitemäärän osuuden levityskaistan kokonaislannoitemäärästä lisääntyessä vain vähän.

Koneen kallistumisesta johtuvat muutokset levityskaistan lannoitejakautuman profiilissa pysyivät ennallaan, kun lentokorkeus lisääntyi 15 metristä 60 metriin. Koneen kallistuksen puoleisen levityskaistan osan lannoitemäärän osuus levityskaistan kokonaislannoitemäärästä laski tosin n. 5 %, kun lentokorkeutta lisättiin peruslentokorkeudesta, mutta pysyi 30 metrin tai 60 metrin lentokorkeutta käytettäessä kuitenkin n. 40 %:na kokonaislannoitemäärästä.

Lannoitteen ajautuminen koneen kallistukseen nähden vastakkaiselle puolelle lentolinjaa johtui siitä, että koneen lentoasennon muuttuessa myös sen aiheuttamien jättövirtausten suunta muuttui ja lannoite ajautui ilmapyörteiden mukana alaspäin ja poispäin koneen alaspainuvasta siivestä. Koneen asennon muuttuessa tapahtuva



Kuva 18. Koneen asennon vaikutus levityskaistan poikkisuuntaiseen lannoitejakautumaan.

Figure 18. Attitude of the aircraft and its effect on the lateral distribution of the swath.

jättövirtausten suunnan muutos ei kuitenkaan vaikuttanut koko levityskaistan asemaan kuten sivutuuli, vaan levityskaistan lannoitejakautuman maksimipiste pysyi koneen lentolinjan kohdalla sekä 15 metrin että 30 metrin ja 60 metrin lentokorkeutta käytettäessä.

54. Tuuli

Lentolannoituksessa koneen lentolinjojen suunta määräytyy yleensä käsiteltävän maastokuvion muodon perusteella. Suurilla työmailla kuvioiden yleissuunta vaihtelee kuitenkin aina sen verran, että kulloinkin käytettävä lentosuunta voidaan valita levityshetkellä vallitseviin tuuliolosuhteisiin nähden edullisimmaksi. Lentolinjojen suunta on kuitenkin syytä pitää joko yhdensuuntaisena vallitsevan tuulen kanssa tai sitten kohtisuorana sitä vastaan. Erityisesti tämä on muistettava koneen suorittaessa paluukäännöstä seuraavalle lentolinjalle, sillä tuulen suunnalla ja nopeudella on huomattava vaikutus käännöksen tarkkuuteen ja turvallisuuteen ja lentäjän on helpointa arvioida käännöksen vaatimat toimenpiteet, kun koneen lentosuunta on joko tuulen suuntainen tai kohtisuoraan sitä vastaan.

Lannoitteiden levityksen kannalta koneen lentosuunnalla tuuleen nähden ei ollut kovin suurta merkitystä, kun tuulen nopeus oli alle 2 m/s. Mikäli kone lensi tuulen suuntaisesti myötä- tai vastatuuleen, tuulen nopeus saattoi kohota yli 5 m:iin/s ilman että koneesta leviävä lannoitevana hajaantui, tai että sen lannoitejakautuman tasaisuus huomattavasti heikkeni.

Levityskaistalle leviävän lannoitteen määrään tuulen nopeudella, joka ylitti 5 m/s, oli kuitenkin jo selvä vaikutus. Vaikka koneen ilmanopeus oli vakio, sen maanopeus vaihteli sen mukaan lennettiinkö myötä- tai vastatuuleen. Kun maanopeuden vaihtelu ylitti 10 m/s, vaikutus alkoi näkyä myös levityskaistan lannoitejakautumassa siten, että vastatuuleen (hitaammin) lennettäessä lannoitemäärä levityskaistalla oli suurempi kuin myötätuuleen (nopeammin) lennettäessä.

Levitysalueella vallitsevan tuulen vaikutus levityksessä käytettävän lentokorkeuden valintaan jäi selvästi vähäisemmäksi lennettäessä tuulen suuntaisesti kuin lennettäessä kohtisuoraan tuulen suuntaa vasten. Lentolinjojen ollessa tuulen suuntaiset, lennot voitiin suorittaa myös 60 metrin lentokorkeutta käyttäen, mikäli tuuli ei ollut puuskainen.

Kun lentolinjojen suunta oli kohtisuorassa vallitsevan tuulen suuntaa vasten, koneen lentosuunnan säilyttäminen aiotun lentolinjan suuntaisena tuotti sitä suurempia vaikeuksia mitä korkeammalla lennettiin. 60 metrin lentokorkeutta käytettäessä koneen aseman määrittely mittauskentän suhteen ja aiotun lentolinjan noudattaminen tuottivat jo ylipääsemättömiä vaikeuksia. Toisaalta myös koneesta leviävä lannoitevana ehti tällöin hajaantua epämääräiseksi pilveksi ja levityskaistan leveyden ja ajautuman toteaminen oli mahdotonta. Rakeisilla lannoitteilla levityskokeet sivutuulessa voitiin suorittaa sekä 15 metrin että 30 metrin lentokorkeutta käyttäen kun tuulen

nopeus oli 2—3 m/s. Jauhemaisen lannoitteen levityksessä 15 metrinkin lentokorkeus oli jo liikaa, mikäli sivutuulen nopeus ylitti 2 m/s.

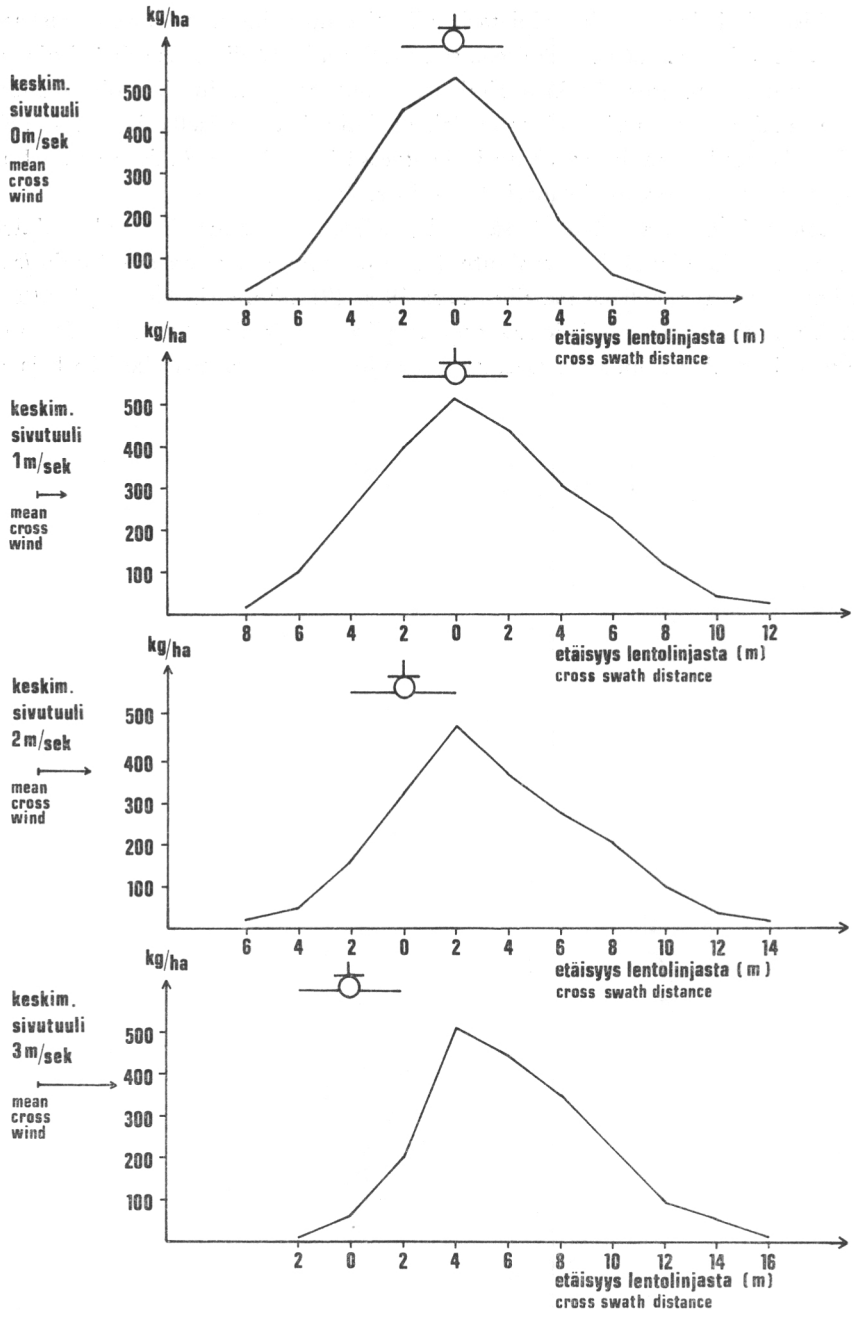
Lannoitteen levitys suoritettiin sivutuulikokeissa auralevittimellä varustetulla lannoituslentokoneella. Kokeissa lannoitteena käytettiin jauhemaista PK-lannosta, pienirakeista ureaa ja keskisuurirakeista oulunsalpietaria. Levitinlaitetestauksissa saatujen kokemusten perusteella (ks. luku 51) suurirakeinen metsäsalpietari soveltui huonosti käytettävissä olevilla levittimillä levitettäväksi, jonka vuoksi sen käytöstä jatkokokeissa luovuttiin.

Jauhemaisen lannoitteen levityksessä sivutuuli, jonka nopeus oli 1 m/s aiheutti jo muutoksia levityskaistan lannoitejakautumaan. Lannoitejakautuman profiili, joka tyynissä olosuhteissa oli kartiomainen, ja jonka maksimipiste sijaitsi koneen lentolinjalla, muuttui tuulen puoleiselta sivultaan huomattavasti jyrkemmäksi kuin tuulen myötäiseltä sivulta (vrt. kuva 19 s. 49). Kun sivutuulen nopeus kohosi 2 m:iin/s, koneesta leviävä lannoitevana hajaantui epämääräiseksi pilveksi, joka osittain jäi kellumaan alueella esiintyviin pystysuoriin ilmavirtauksiin.

Pienirakeinen urea oli tilavuuspainoltaan varsin kevyttä ja ajautui myös helposti tuulen mukana. Levityskaistan lannoitejakautuman profiili muuttui, kuten jauhemaisenkin lannoitteen levityksessä, tuulen puoleiselta sivultaan jyrkemmäksi ja tuulen myötäiseltä sivulta loivemmaksi tuulen nopeuden lisääntyessä. Levityskaistan ajautuma oli kuitenkin selvästi pienempi kuin jauhemaisella lannoitteella, sillä 15 metrin lentokorkeutta käytettäessä levityskaista ajautui vain n. kuusi metriä tuulen mukaan, vaikka tuulen nopeus kohosi 3 m:iin/s (taulukko 10 s. 48). Myös 30 metrin levityskorkeutta käytettäessä urean leviämiskaista säilyi selvärajaisena vielä sivutuulen nopeuden kohotessa 2 m:iin/s. Levityskaistan ajautuma oli tällöin kuitenkin jo n. 10 m (taulukko 10 s. 48).

Taulukko 10. Levityskaistan ajautuma sivutuulessa
Table 10. Drift of the swath when flying cross-wind

Lannoite *Fertilizer*	Lentokorkeus *Flying height* m	Tuulen nopeus *Wind velocity* m/s	Levityskaistan ajautuma *Drift* m
Jauhem. PK-lannos	15	1.0	4
Ground PK fertilizer	15	2.0	+ 10 m (lannoitevana hajaantui — *swath dispersed)*
Urea	15	1.0	2
Urea	15	2.0	4
	15	3.0	6
	30	1.0	4
	30	2.0	10
Oulun salpietari	15	1.0	0
Oulu saltpeter	15	2.0	2
	15	3.0	4
	30	1.0	2
	30	2.0	6



Kuva 19. Sivutuulen vaikutus levityskaistan lannoitejakautumaan. Lentokorkeus 15 m. Lannoitteena oulunsalpietari.

Figure 19. Effect of cross wind on the lateral distribution pattern. Flying height 15 m. Oulu saltpeter as a fertilizer.

Keskisuurirakeinen oulunsalpietari oli tilavuuspainoltaan ureaa raskaampi. Ureaa suurempi- ja raskaampirakeisena sen tuuliherkkyys oli myös selvästi pienempi.

Sivutuulen vaikutus keskisuurirakeisen oulunsalpietarin lannoitejakautuman poikkisuuntaiseen profiiliin oli samanlainen kuin jauhemaisella ja pienirakeisella lannoitteella, tuulen puoleisen sivun jyrkentyessä ja tuulen myötäisen sivun loiventuessa, kun tuulen nopeus lisääntyi (kuva 19 s. 49).

Peruslentokorkeutta käytettäessä levityskaistan ajautuma jäi oulunsalpietarin levityksessä melko pieneksi. Kun sivutuulen nopeus nousi 1 metristä/s 3 m:iin/s ajautuma kasvoi nollasta neljään metriin (kuva 19 s. 49). 30 metrin lentokorkeutta käytettäessä sen sijaan sivutuuli, jonka nopeus ylitti 2 m/s aiheutti n. kuuden metrin ajautuman ja tuulen nopeuden noustessa 3 m:iin/s lannoitevana alkoi jo hajaantua.

6. RAE- JA RAVINNEJAKAUTUMA LEVITYSKAISTALLA

61. Raejakautuma

Rakeiset lannoitteet ovat harvoin raekoostumukseltaan täysin homogeenisia, sillä lannoitteen valmistusprosessissa syntyy aina vaihtelevankokoisia rakeita. Seulomalla raekoon hajonta voidaan tietysti pienentää hyvinkin vähäiseksi, mutta yleensä lannoitteelle määrätyn raekoon ylä- ja alarajan väliin jää tietty liikkuma-ala, jonka sisällä raejakautuma pyritään pitämään vakiona.

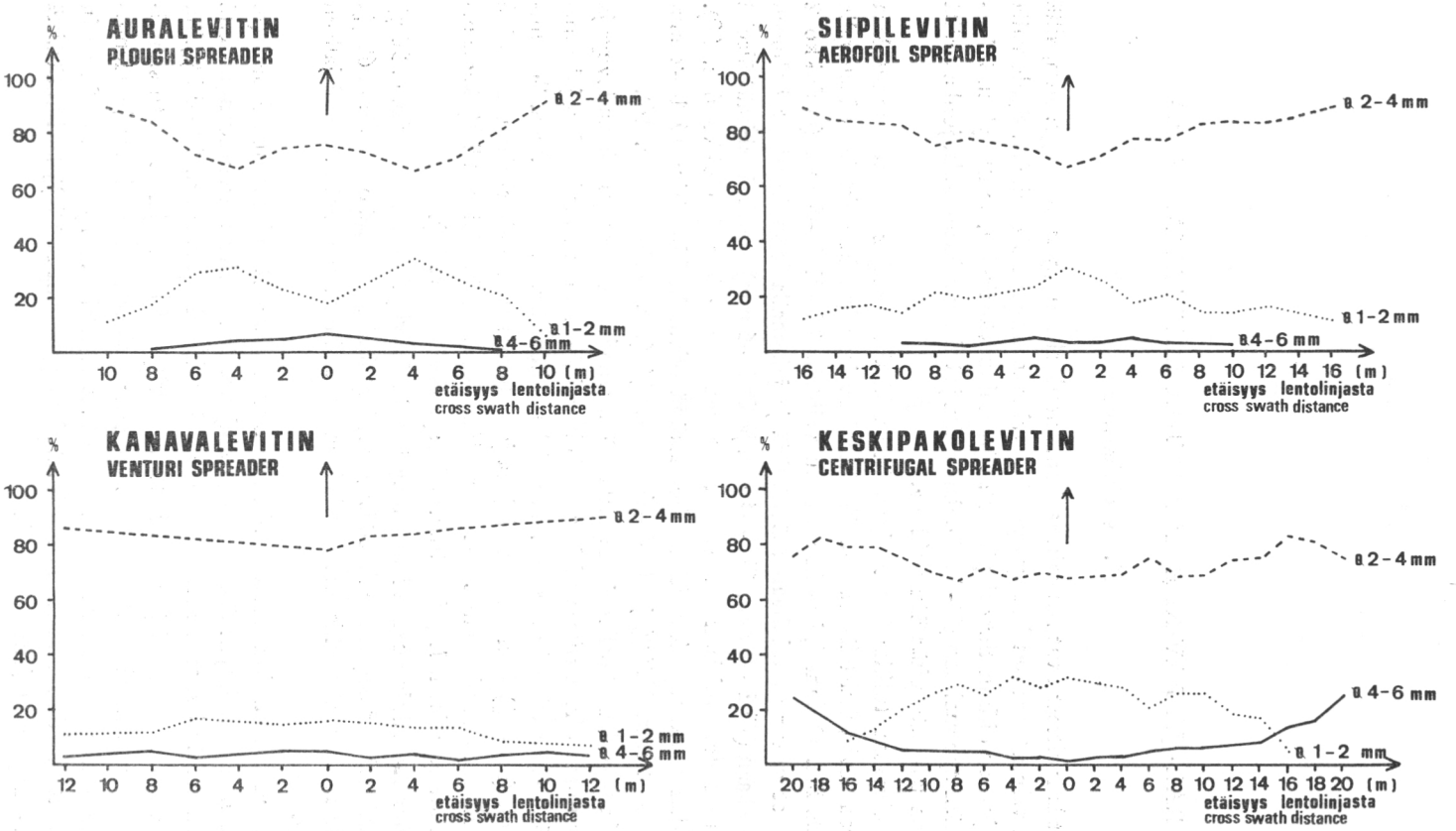
Käsillä olevassa tutkimuksessa lannoitteen sisäisen raejakautuman muutoksia levitinlaitteen levityskaistalla selvitettiin keskisuurirakeisia lannoitteita edustavalla oulunsalpietarilla. Oulunsalpietarin raekoon vaihteluväli oli 1—6 mm (taulukko 2 s. 14). Rakeet olivat muodoltaan säännöllisiä ja jakamalla lannoiterakeet kolmeen läpimittaluokkaan (Ø 1—2 mm, Ø 2—4 mm ja Ø 4—6 mm) saatiin keskimääräiseltä raepainoltaan kolme toisistaan selvästi erottuvaa raefraktiota (taulukko 6 s. 20). Raefraktioiden osuudet kokonaislannoitemäärästä olivat keskimäärin: Ø 1—2 mm 16.1 %, Ø 2—4 mm 81.7 % ja Ø 4—6 mm 2.2 % (vrt. taulukko 2 s. 14).

15 metrin peruslentokorkeutta käytettäessä auralevittimen levityskaistan leveys ja lannoitejakautuma olivat riippuvaisia pääasiallisesti 2—4 mm:n raefraktion jakautumasta. 4—6 mm:n raefraktion osuus kokonaislannoitemäärästä oli vähäinen. Suurimmillaan se oli (n. 8 %) koneen lentolinjalla ja väheni sitten levityskaistan reunoille mentäessä. Kokonaisuudessaan suurten rakeiden leviämisalue jäi n. 25 % kapeammaksi kuin levityskaistan keskimääräinen leveys (kuva 20 s. 52).

2—4 mm:n raefraktion osuus lannoitemäärästä oli levityskaistan reunoilla n. 90 % laskien sitten tasaisesti neljän metrin etäisyydelle lentolinjasta, missä osuus oli n. 65 %. Lentolinjalle mentäessä keskisuurten rakeiden osuus lannoitemäärästä nousi jälleen yli 70 %:iin.

1—2 mm:n raefraktion osuus kokonaislannoitemääristä oli suurimmillaan (n. 30 %) neljän metrin etäisyydellä koneen lentolinjasta. Sekä levityskaistan reunoille että keskelle mentäessä pienten rakeiden osuus laski maksimiarvostaan n. 10—15 %:iin.

Lentokorkeuden lisäys ei juuri vaikuttanut levityskaistan raejakautuman suhteisiin. Ainoa merkittävämpi muutos oli, että suurten rakeiden leviämisalue laajeni lentokorkeutta nostettaessa nopeammin kuin kokonaislevityskaista. Käytettäessä 60 metrin levityskorkeutta 4—6 mm:n raefraktion leviämisalue oli enää n. 15 % keskimääräistä levityskaistaa kapeampi (kuva 21 s. 54).



Kuva 20. Kokonaislannoitemäärän jakautuma raeluokkiin levityskaistan poikkisuunnassa aura-, kanava-, siipi- ja keskipakolevittimellä. Lentokorkeus 15 m

Figure 20. The distribution of the total fertilizer amount into grain classes in cross swath direction when using plough, venturi, aerofoil and centrifugal spreaders. Flying height 15 m

Kuten auralevittimellä, myös siipilevittimellä 4—6 mm:n raefraktio levisi heikommin kuin pienet tai keskisuuret rakeet. Levityskaistan keskiosissa suurten rakeiden osuus lannoitemäärästä oli 4—5 %, väheten jo kuuden metrin etäisyydellä lentolinjasta 1—2 %:iin. Kokonaisuutenaan suurten rakeiden leviämisalue oli 15 metrin lentokorkeutta käytettäessä vain n. 70 % koko levityskaistan leveydestä (kuva 20 s. 52).

Levityskaistan leveyden määräsi siipilevittimelläkin 2—4 mm:n raefraktion leviäminen. Keskisuurten rakeiden osuus lannoitemäärästä oli koneen lentolinjalla n. 70 % ja kasvoi levityskaistan reunoille mentäessä n. 90 %:iin. Pienten 1—2 mm:n rakeiden osuus taas oli suurin (n. 30 %) levityskaistan keskellä ja väheni sitten 10—15 %:iin (kuva 20 s. 52).

Siipilevittimellä suoritetuissa kokeissa lentokorkeuden lisääntyminen ei aiheuttanut muutoksia raejakautuman suhteissa levityskaistan keskiosissa. Jo 30 metrin lentokorkeutta käytettäessä levityskaistan leveys oli kuitenkin sama kuin 2—4 mm:n raefraktion leviämisalue, suurten rakeiden jäädessä n. 40 % tätä kapeammalle kaistalle ja pienten rakeidenkin levitessä n. 15 % keskimääräistä levityskaistaa kapeammalle alueelle (kuva 21 s. 54).

Kanavalevitin poikkesi muista testatuista lentokonelevittimistä siinä, että käytetystä lentokorkeudesta riippumatta kaikkien raefraktioiden rakeet levisivät tasaisesti koko levityskaistan leveydeltä (kuva 22 s. 55).

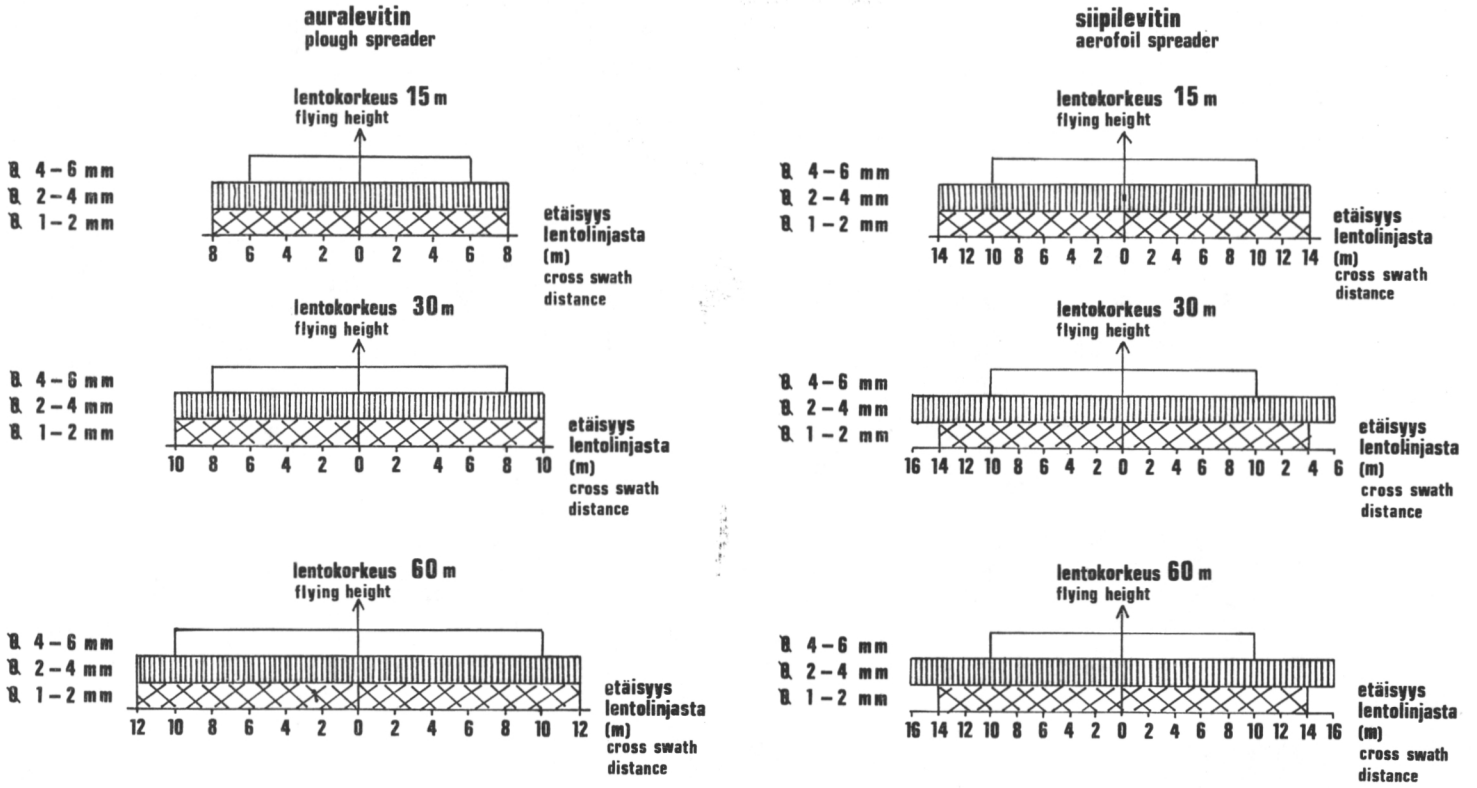
Levityskaistalla raefraktioiden osuudet kokonaislannoitemäärästä vastasivat melko tarkasti lannoitteena käytetyn oulunsalpietarin keskimääräistä raejakautumaa (vrt. kuva 20 s. 52 ja taulukko 2 s. 14).

Keskipakolevitin erosi toimintaperiaatteeltaan muista testatuista levittimistä. Lannoiterakeet sinkoutuivat siitä mekaanisen heittopyörän voimalla ja tällöin eri kokoisten ja painoisten rakeiden lentorata muodostui erilaiseksi ja levityskaistan raejakautuma vaihteli huomattavasti eri etäisyyksillä koneen lentolinjasta.

Käytettäessä 15 metrin peruslentokorkeutta 1—2 mm:n raefraktion osuus kokonaislannoitemäärästä oli levityskaistan keskiosissa aina 10 metrin etäisyydelle lentolinjasta 25—35 %. Tämän jälkeen se laski jyrkästi ja kokonaisuudessaan 1—2 mm:n rakeiden leviämisalue jäi n. 10 % kapeammaksi kuin keskimääräinen levityskaista (kuva 20 s. 52).

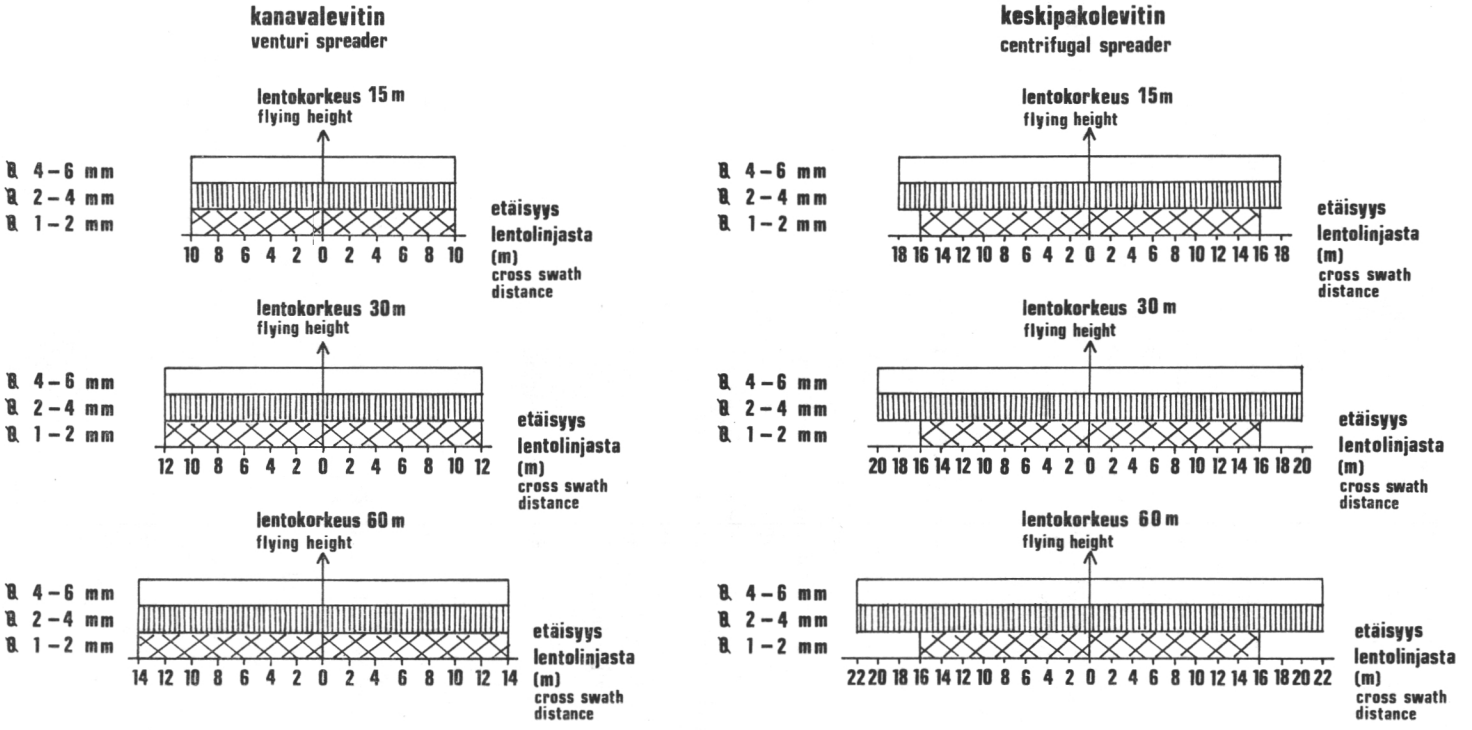
Keskisuurten 2—4 mm:n rakeiden osuus levityskaistan keskiosissa oli n. 70—75 %. Huippuarvonsa 2—4 mm:n raefraktion osuus saavutti 16—18 metrin etäisyydellä koneen lentolinjasta. Levityskaistan reunoille mentäessä suurten rakeiden osuus kohosi jatkuvasti. Koneen lentolinjalla 4—6 mm:n rakeita ei käytännöllisesti katsoen ollut lainkaan. 10 metrin etäisyydellä lentolinjasta niiden osuus lannoitemäärästä oli vain n. 5 %, mutta kohosi tämän jälkeen nopeasti ja ylitti 20 %:n rajan aivan levityskaistan reunoilla (kuva 20 s. 52).

Lentokorkeuden nosto 15 metristä 30 ja 60 metriin lisäsi keskipakolevittimen levityskaistan kokonaisleveyttä huomattavasti, mutta tämä johtui vain suurten ja keskisuurten rakeiden leviämisalueen laajenemisesta. Pienten rakeiden leviämiseen



Kuva 21. 1—2 mm:n, 2—4 mm:n ja 4—6 mm:n raefraktion leviämisalue aura- ja siipilevittimien levityskaistalla

Figure 21. The spreading strips of grain size classes of 1—2 mm, 2—4 mm and 4—6 mm when using plough and aerofoil spreaders



Kuva 22. 1—2 mm:n, 2—4 mm:n ja 4—6 mm:n raefraktion leviämisalue kanava- ja keskipakolevittimen levityskaistalle

Figure 22. The spreading strip of grain size classes of 1—2 mm, 2—4 mm, and 4—6 mm when using venturi and centrifugal spreaders

lentokorkeuden lisäyksellä ei ollut vaikutusta ja levityskorkeuden ollessa 60 m, 1—2 mm:n raefraktion leviämisalue oli enää n. 70 % levityskaistan koko leveydestä (kuva 22 s. 55).

62. Ravinnejakautuma

Rakeistetuilla lannoitteilla ei eri raefraktioiden ravinnepitoisuuksien välillä yleensä ole kovin suuria eroja (taulukko 3 s. 14), joten ravinteiden jakautumista ei levityksen yhteydessä juuri tapahdu. Sen sijaan mekaanisten seoslannoitteiden levityksessä ravinteet saattavat helposti jakautua epätasaisesti levityskaistalle, mikäli ravinnekomponenttien hiukkaskoot eroavat huomattavasti toisistaan.

Suometsien jauhemainen PK-lannos, jota levityskokeissa käytettiin jauhemaisena lannoitteena, on Suomessa yleisimmin metsänlannoituksessa käytetty mekaaninen seoslannoite. Raakafosfaatista ja kalisuolasta valmistettu PK-lannos sisälsi fosforia 24 % (P_2O_5) ja kalia 15 % (K_2O). Seula- ja ravinneanalyysin mukaan (taulukko 3 s. 14) kali rikastui pölymäisessä aineosassa ja fosfori karkeassa aineosassa.

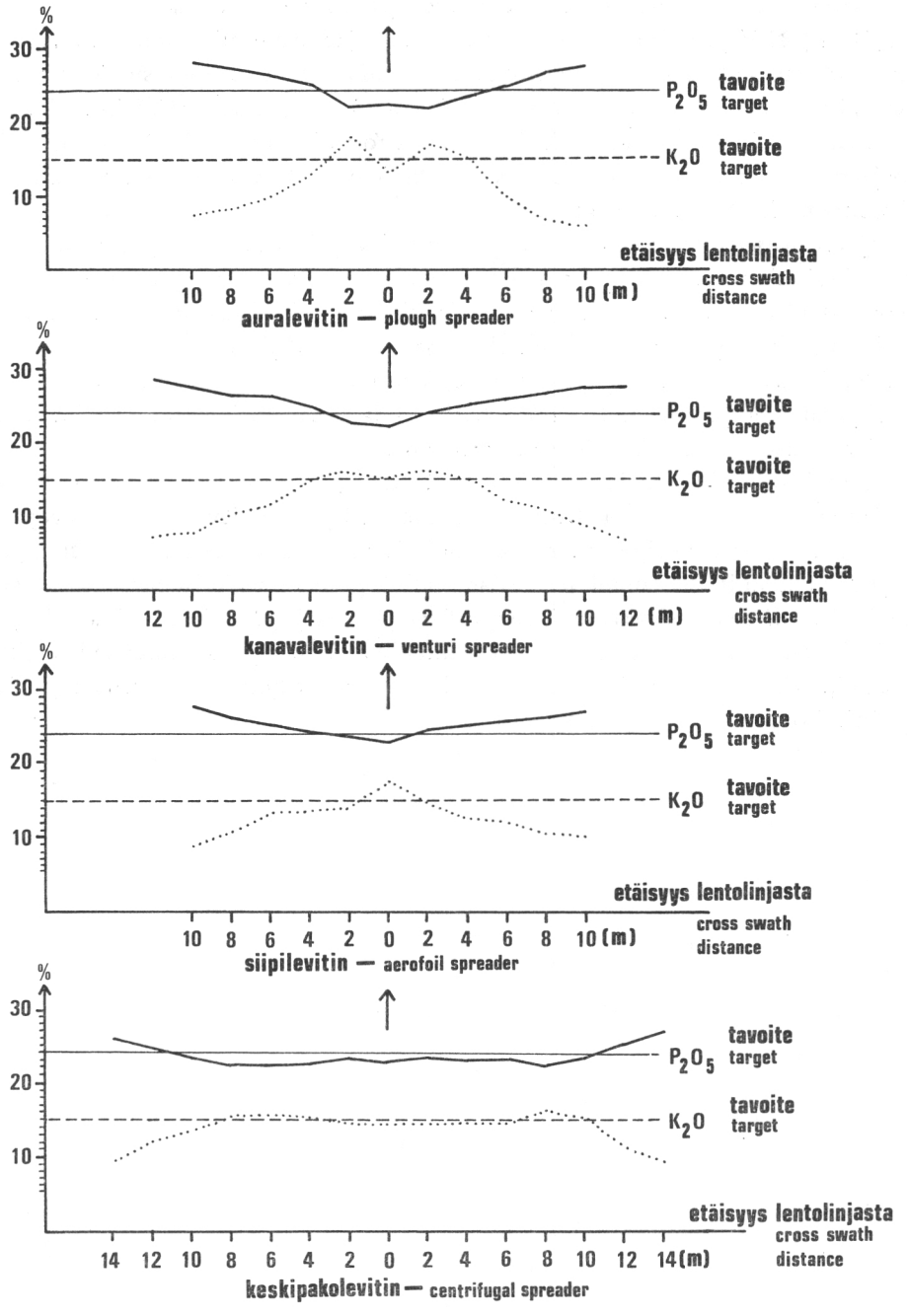
Levityskokeissa pääravinnepitoisuudet määritettiin levityskaistan siltä osin, jossa mitta-astioihin kertyneet näytemäärät olivat riittävän suuria ravinneanalyysin suorittamiseen. Näytteet analysoitiin erikseen 15 m ja 30 m levityskorkeuksilta suoritetuista kokeista, mutta koska lentokorkeuden lisääntyminen ei aiheuttanut sanottavia muutoksia pääravinteiden jakautumissuhteissa levityskaistan poikkisuunnassa, tulokset on tältä osin esitetty yhdistettyinä (kuva 23 s. 57).

Levityskokeiden yhteydessä todettiin, että osa PK-lannoksen pölymäisestä aineosasta, joka sisälsi huomattavasti kalia, jäi leijumaan ilmaan ja ajautui vähitellen varsinaisen levityskaistan ulkopuolelle. Analyysituloksista havaittiin myös, että kaikissa levityskokeissa kalisuolan osuus pieneni voimakkaasti levityskaistan reunoille mentäessä (ks. kuva 23 s. 57).

Potkuri- ja ilmavirralla toimivilla levittimillä oli lannoitteen ravinnejakautuma levityskaistalla jauhemaisen PK-lannoksen levityksessä kaikilla varsin samanlainen (kuva 23 s. 57). Korkeajakoisen raakafosfaatin osuus levityskaistan reunoilla oli suuri, fosforipitoisuuden (P_2O_5:na) noustessa jo 8—10 metrin etäisyydellä koneen lentolinjasta 27—29 %:iin.

Levityskaistan keskelle leviävässä lannoitteessa oli hienojakoista ainesta silminnähden enemmän kuin levityskaistan reunoilla, ja raakafosfaatin osuus pienenikin tasaisesti koneen lentolinjalle mentäessä, sillä hienojakoisessa aineosassa oli kalisuolaa huomattavasti keskimääräistä enemmän (taulukko 3 s. 14). Lannoitteen fosforipitoisuus (P_2O_5:na) oli sekä aura- että kanava- ja siipilevittimellä suoritetuissa kokeissa levityskaistan keskellä neljä metriä leveällä alueella keskimäärin vain n. 23 %, kun se koko analysoidun levityskaistan keskiarvona näillä levittimillä suoritetuissa kokeissa oli lähes 26 %.

Lannoitteen kalipitoisuus (K_2O:na) oli potkuri- ja ilmavirralla toimivien levittimien levityskaistan keskellä neljä metriä leveällä alueella keskimäärin n. 16 %, ja koko analysoidun levityskaistan keskiarvona oli vain noin 12 %.



Kuva 23. Ravinnejakautuma jauhemaisen PK-lannoksen levityksessä.
Figure 23. The nutrient distribution of the ground PK fertilizer.

Suometsien PK-lannoksen alkuperäiset pääravinnepitoisuudet olivat: fosforia (P_2O_5:na) 24 % ja kalia (K_2O:na) 15 %. Potkuri- ja ilmavirralla toimivilla levittimillä suoritetuissa kokeissa levityskaistoilta analysoidut pääravinnepitoisuudet poikkesivat varsin huomattavasti näistä arvoista (kuva 23 s. 57). Keskimäärinkin sekä aura- että kanava- ja siipilevittimen levityskaistalla fosforipitoisuus (P_2O_5:na) oli n. 2 % ohjearvoa suurempi ja kalipitoisuus (K_2O:na) n. 3 % pienempi kuin valmistajan ilmoittama keskimääräinen arvo.

Jauhemaisella PK-lannoksella suoritetuissa levityskokeissa keskipakolevitin osoittautui erittäin toimintavarmaksi ja tehokkaaksi. Sekä 15 metrin että 30 metrin lentokorkeutta käytettäessä lannoite levisi tasaisesti koko levityskaistalle, tehollisen levityskaistan, jolle 80 % lannoitteesta levisi, ollessa n. 60—70 % koko levityskaistan leveydestä. Myös PK-lannoksen pääravinnejakautuma osoittautui keskipakolevittimen levityskaistalla yllättävän tasaiseksi potkuri- ja ilmavirralla toimivien levittimien levityskaistoilta saatuihin tuloksiin verrattuna.

Keskipakolevittimen levityskaistan pääosalla, joka ulottui 10 m koneen lentolinjan molemmille puolille ja käsitti siten n. 60—70 % koko levityskaistan leveydestä, sekä lannoitteen fosforipitoisuus että kalipitoisuus vastasivat erittäin tarkasti valmistajan ilmoittamia PK-lannoksen keskimääräisiä pääravinnepitoisuuksia. Vasta aivan levityskaistan reunaosissa lannoitteen fosforipitoisuus (P_2O_5:na) kohosi 26—27 %:iin ja kalipitoisuus (K_2O:na) laski 10—11 %:iin (kuva 23 s. 57). Keskimäärin lannoitteen fosforipitoisuus (P_2O_5:na) oli keskipakolevittimen levityskaistalla hieman yli 24 % ja kalipitoisuus (K_2O:na) n. 14 %.

7. OPTIMAALINEN LANNOITUSTASAISUUS LENTOLANNOITUKSESSA

Optimaalinen lannoitustasaisuus on käytäntöä ajatellen teoreettinen käsite. Levitinlaitteiden ja lannoitteiden levitysominaisuuksien vertailussa on luvussa 43 esitetty optimaalisen lannoitustasaisuuden määritysmenetelmä kuitenkin havainnollinen.

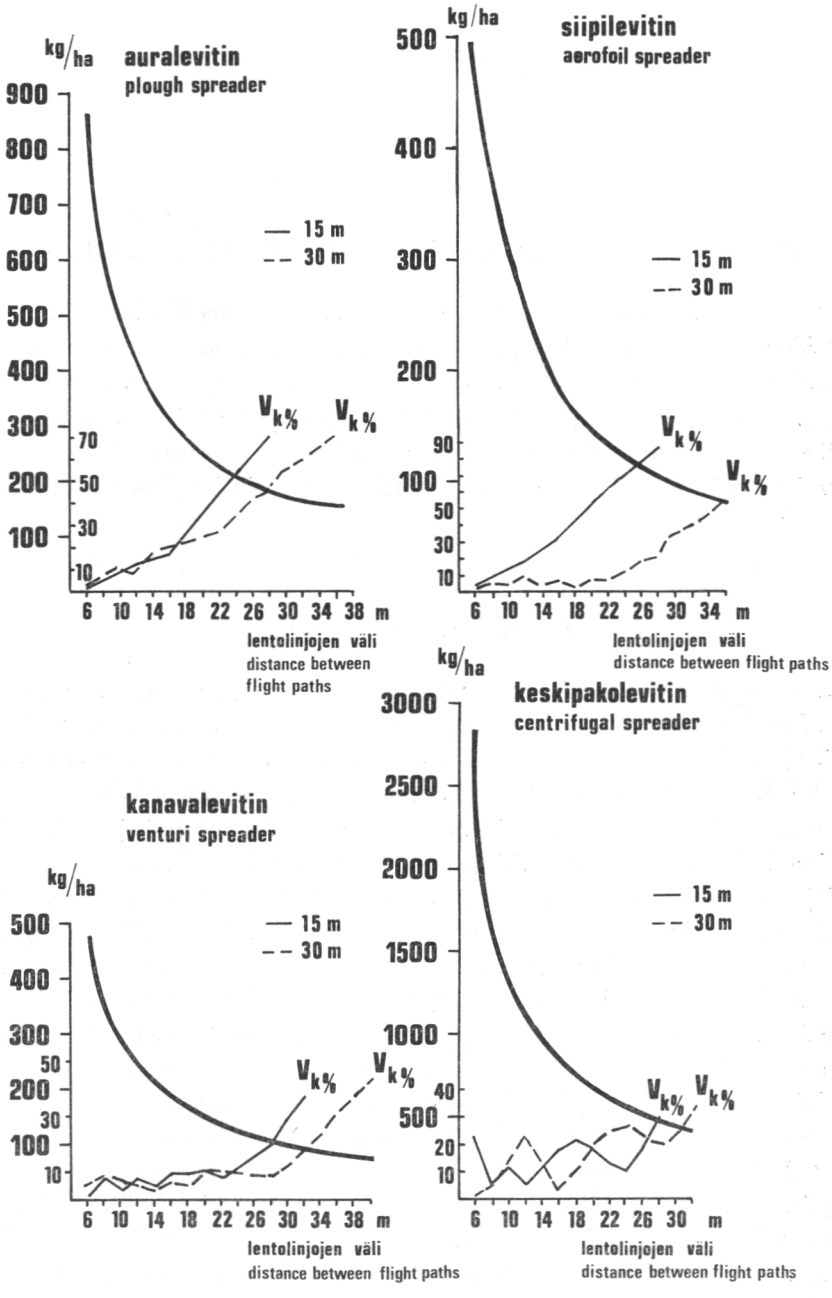
Tässä luvussa esitettävät, eri lentokonelevittimillä ja lannoitteilla eri levityskorkeuksilta saavutettavat optimaalista lannoitustasaisuutta koskevat tulokset, perustuvat luvuissa 51 ja 52 esitettyihin koeolosuhteissa saatuihin keskimääräisiin lannoitejakautumiin.

71. Jauhemaiset lannoitteet

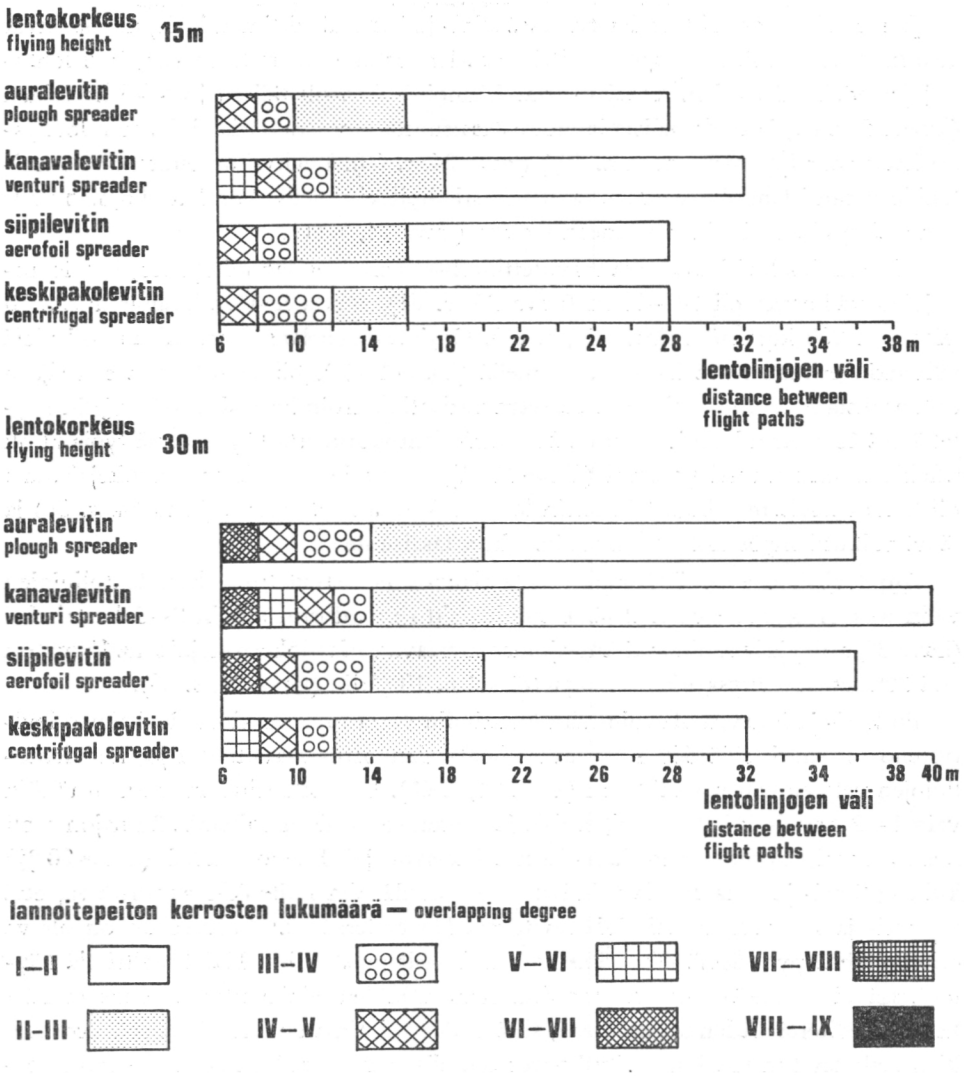
Käytäntöä ajatellen optimaalinen lannoitustasaisuus pysyy jauhemaisen PK-lannoksen levityksen osalta tavoittamattomana suureena, sillä PK-lannosta käytetään lähinnä ojitettujen turvemaiden lannoitukseen ja näillä lannoitepeitto ei muodostu yhtenäiseksi, koska lannoitteen levitystä ojiin on erityisesti vältettävä.

Suomessa ojitetuilla soilla sarkaleveys on yleensä n. 30—40 m, ja jotta lannoitteen leviämiseltä ojiin vältyttäisiin, levitinyksikön on yleensä liikuttava käsiteltävän saran keskilinjan tuntumassa. Testattujen lentokonelevittimien osalta tämä tietää sitä, että aura-, kanava- ja siipilevittimellä lannoitettava sarka on käsiteltävä 2—3 kertaa, jotta saavutettaisiin keskimäärin yleensä tavoitteena pidetty hehtaariannostus 500 kg/ha (Huikari ja Paavilainen 1972, s. 47). Koska lentolinjat on tällöin pakko lentää lähes käsiteltävän saran keskilinjaa noudattaen, lannoitemäärä saran keskiosalle nousee huomattavasti suuremmaksi kuin reunoilla (lannoitustasaisuutta kuvaava variaatiokerroin n. 60—70 %). Ainoastaan keskipakolevittimen levitysteho on niin suuri, että kerta-annos vastaa tavoiteannosta 500 kg/ha. Myös levityskaistan leveys vastaa tällä levittimellä 30—40 m leveän saran leveyttä, ottaen huomioon 3—5 m leveän, lannoittamatta jäävän suojavyöhykkeen sarkaojien pientareilla. Omaa luokkaansa on keskipakolevittimellä saavutettava lannoitustasaisuuskin, sillä hajontaa kuvaava variaatiokerroin on vain n. 30 %, vaikka lannoitepeitto jää yksinkertaiseksi.

Itse levitinlaitteiden vertailussa käytännön levitystekniikan asettamat rajoitukset jäävät pois ja levittimien levitystehoa sekä niillä saavutettavaa lannoitustasaisuutta tarkastellaan optimaalista lannoitustasaisuutta kuvaavien variaatiokertoimien ja niitä vastaavien lannoiteannostusten avulla.



Kuva 24. Optimaalinen lannoitustasaisuus jauhemaisen PK-lannoksen levityksessä.
Figure 24. The optimum fertilization evenness when spreading ground PK fertilizer.



Kuva 25. Lentolinjojen välimatkasta riippuva lannoitepeiton kerrosten lukumäärä jauhemaisen PK-lannoksen levityksessä.

Figure 25. Effect of the distance between flight paths on the overlapping degree when spreading ground PK fertilizer.

Optimaalinen lannoitustasaisuus oli sitä parempi mitä pienempi koneen lentolinjojen välimatka oli. Tarkastelussa pienimpänä lentolinjojen välinä pidettiin kuutta metriä, jolloin lannoitepeitto muodostui yleensä vähintään 4—6 kertaiseksi (käytännössä jo 2—4 kertaisen lannoitepeiton katsotaan antavan parhaan mahdollisen levitystasaisuuden, Gustavsson 1971 c, s. 4) ja teoreettinen lannoiteannoskin ylitti selvästi käytännössä vaadittavat tavoiteannostukset.

Jauhemaisen lannoitteen levityksessä siipi- ja kanavalevittimen levitystehot olivat vaatimattomia, sillä 500 kg:n tavoitehehtaariannostus saavutettiin vasta, kun lentolinjojen välimatka oli n. kuusi metriä. Lannoitepeitto oli tällöin jo 4—6 kertainen (kuva 25, s. 61) ja optimaalista lannoitustasaisuutta kuvaava variaatiokerroin levityskorkeudesta riippumatta vain n. 5 % (kuva 24, s. 60). Levityskorkeuden nosto kuitenkin paransi lannoitustasaisuutta erityisesti siipilevittimellä, kun lentolinjojen välinen etäisyys kohosi yli kymmeneen metriin (kuva 24, s. 60).

Molemmilla levitintyypeillä saavutettiin 2—3 kertainen lannoitepeitto, kun lentolinjojen välimatka oli 14—16 m (kuva 25, s. 61), mutta leviävä lannoitemäärä jäi tällöin n. 200 kg:aan/ha (kuva 24, s. 60). Optimaalinen lannoitustasaisuus oli vielä tällöinkin erittäin hyvä kanavalevittimellä (Vk⌣ 10 %). Siipilevittimellä sen sijaan optimaalista lannoitustasaisuutta kuvaava variaatiokerroin kohosi 25—35 %:iin käytettäessä 15 metrin lentokorkeutta. 30 metrin lentokorkeutta käytettäessä työjälki oli silläkin huomattavasti parempi (Vk⌣ 10 %), koska levityskaistan lannoitejakauma oli tällöin tasaisempi kuin 15 metrin lentokorkeutta käytettäessä (kuva 14, s. 36) ja tämä vaikutti myös kokonaislannoitepeiton tasaisuuteen.

Auralevittimellä n. 500 kg:n hehtaariannostus saavutettiin, kun lentolinjojen välimatka oli kymmenen metriä. Lannoitepeitto muodostui tällöin 2—3 kertaiseksi (kuva 25, s. 61) ja lannoitemäärän hajontaa kuvaava variaatiokerroin jäi sekä 15 metrin että 30 metrin levityskorkeutta käytettäessä n. 10 %:iin (kuva 24, s. 60).

Potkuri- ja ilmavirralla toimiviin levittimiin verrattuna keskipakolevittimen levitysteho oli suuri, sillä 500 kg:n tavoitehehtaariannostus saavutettiin jo, kun lentolinjojen välinen etäisyys oli 26 m (kuva 24, s. 60). Lannoitepeitto muodostui tällöin vain 1—2 kertaiseksi (kuva 25, s. 61), ja koska kokonaislannoitemäärän hajonta oli melko suuri, optimaalinen lannoitustasaisuuskin jäi huonommaksi (Vk⌣ 20 %) kuin potkuri- ja ilmavirralla toimivilla levittimillä. On kuitenkin huomattava, että potkuri- ja ilmavirralla toimivia levittimiä käytettäessä lentolinjaverkon on oltava erittäin tiheä pyrittäessä 400—500 kg:n hehtaariannostuksiin. Näitä levittimiä käytettäessä ei myöskään ole mahdollista harventaa lentolinjaverkkoa suurentamalla kerralla levitettävää lannoiteannosta, sillä niiden toiminta tällöin kävisi epävarmaksi. Keskipakolevittimellä ko. levityskokeet sen sijaan suoritettiin maksimikerta-annostusta käyttäen ja sitä pienentämällä voidaan 400—500 kg:n hehtaariannostus saavuttaa myös esitettyä tiheämpää lentolinjaverkkoa käyttäen, jolloin lannoitepeiton kerrosten lukumäärä kasvaa ja levitystasaisuuskin paranee.

72. Pienirakeiset lannoitteet

Typpilannoitteena urean kuten oulunsalpietarin ja metsäsalpietarin käyttö kohdistuu pääasiallisesti kangasmaille, joilla levitystekniikkaan ei kohdistu samanlaisia rajoituksia kuin ojitetuilla turvemailla. Koska käytännössä työskentelytapa vastaa optimaalisen lannoitustasaisuuden määrityksessä käytettyä menettelyä, optimaalista

lannoitustasaisuutta kuvaavia variaatiokerroinarvoja voidaan käyttää tavoitteena, johon käytännön levitystyössäkin olisi pyrittävä.

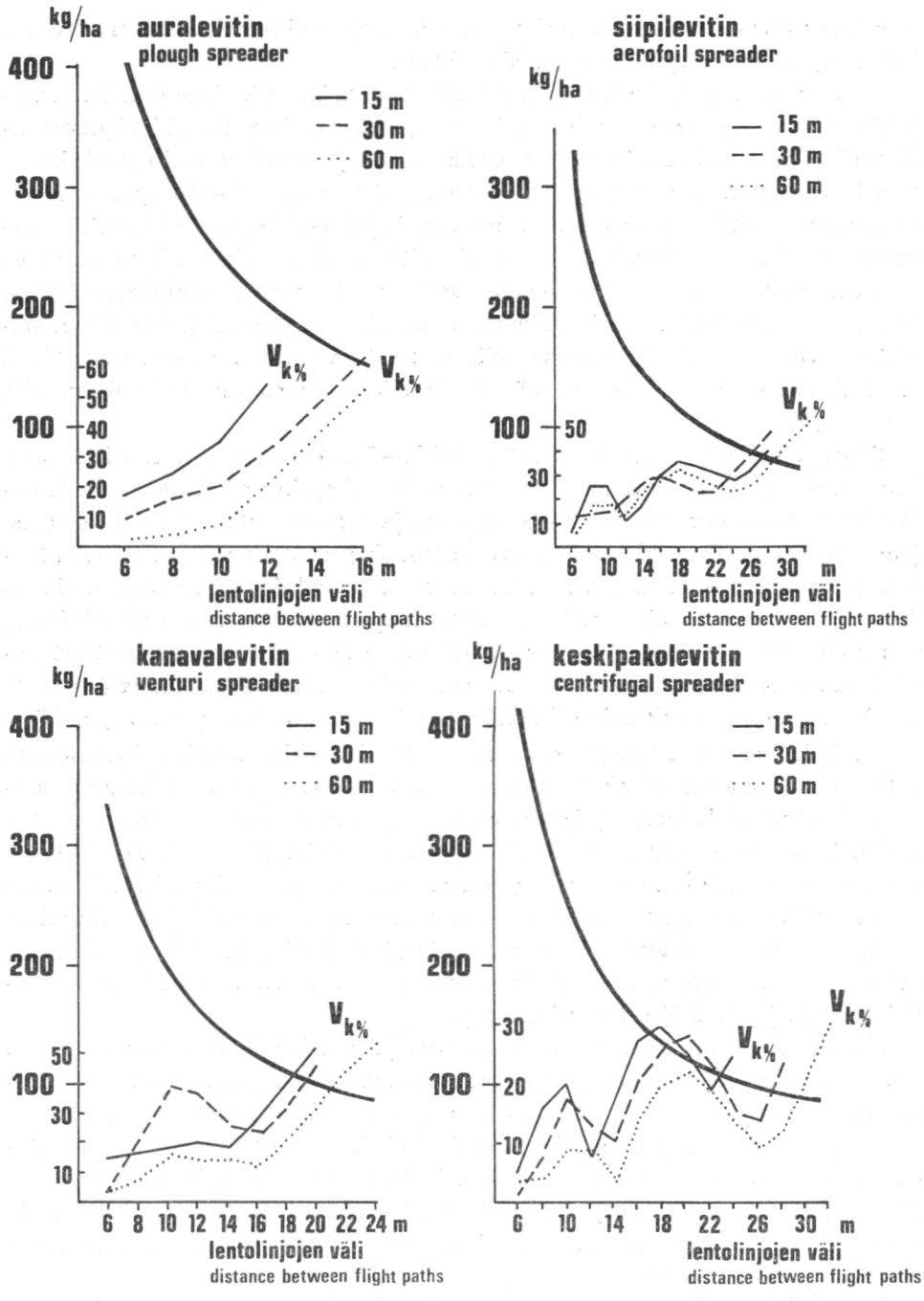
Auralevittimellä pienirakeisen urean leviämiskaista jäi melko kapeaksi. Tämä vaikutti myös optimaaliseen lannoitustasaisuuteen, sillä lannoitepeitto oli levityskorkeudesta riippumatta vain 2—3 kertainen, vaikka lentolinjojen välinen etäisyys oli ainoastaan kuusi metriä (kuva 27, s. 65). Käytännössä yleinen 300—350 kg:n hehtaariannostus saavutettiin auralevittimellä, kun lentolinjojen etäisyys oli keskimäärin kahdeksan metriä. Lannoitepeitto muodostui tällöin 2—3 kertaiseksi. Peruslentokorkeutta käytettäessä optimaalista lannoitustasaisuutta kuvaava variaatiokerroin oli n. 25 %, mutta lentokorkeuden lisääntyminen tasoitti huomattavasti kokonaislannoitemäärän hajontaa, variaatiokertoimen ollessa 30 metrin lentokorkeutta käytettäessä n. 15 % ja laskiessa edelleen n. 5 %:iin, kun lentokorkeus nostettiin 60 metriin (kuva 26, s. 64).

Siipi- ja kanavalevittimellä saavutettiin 300—350 kg:n tavoitehehtaariannostus, kun lentolinjojen välimatka oli kuusi metriä. Lannoitepeitto oli siipilevittimellä tällöin lentokorkeudesta riippuen 4—6 kertainen ja kanavalevittimellä 3—5 kertainen (kuva 27, s. 65). Varsinkin 4—6 kertainen lannoitepeitto takasi erittäin hyvän lannoitustasaisuuden, sillä siipilevittimellä lannoitemäärän hajontaa kuvaava optimaalinen variaatiokerroin oli lentokorkeudesta riippumatta 10 %. Kanavalevittimellä taas optimaalinen lannoitustasaisuus oli 15 metrin lentokorkeutta käytettäessä selvästi huonompi kuin suoritettaessa levitys 30 tai 60 metrin korkeudesta (kuva 26, s. 64), mutta lannoitepeittokin oli tällöin vain 3—4 kerroksinen (kuva 27, s. 65).

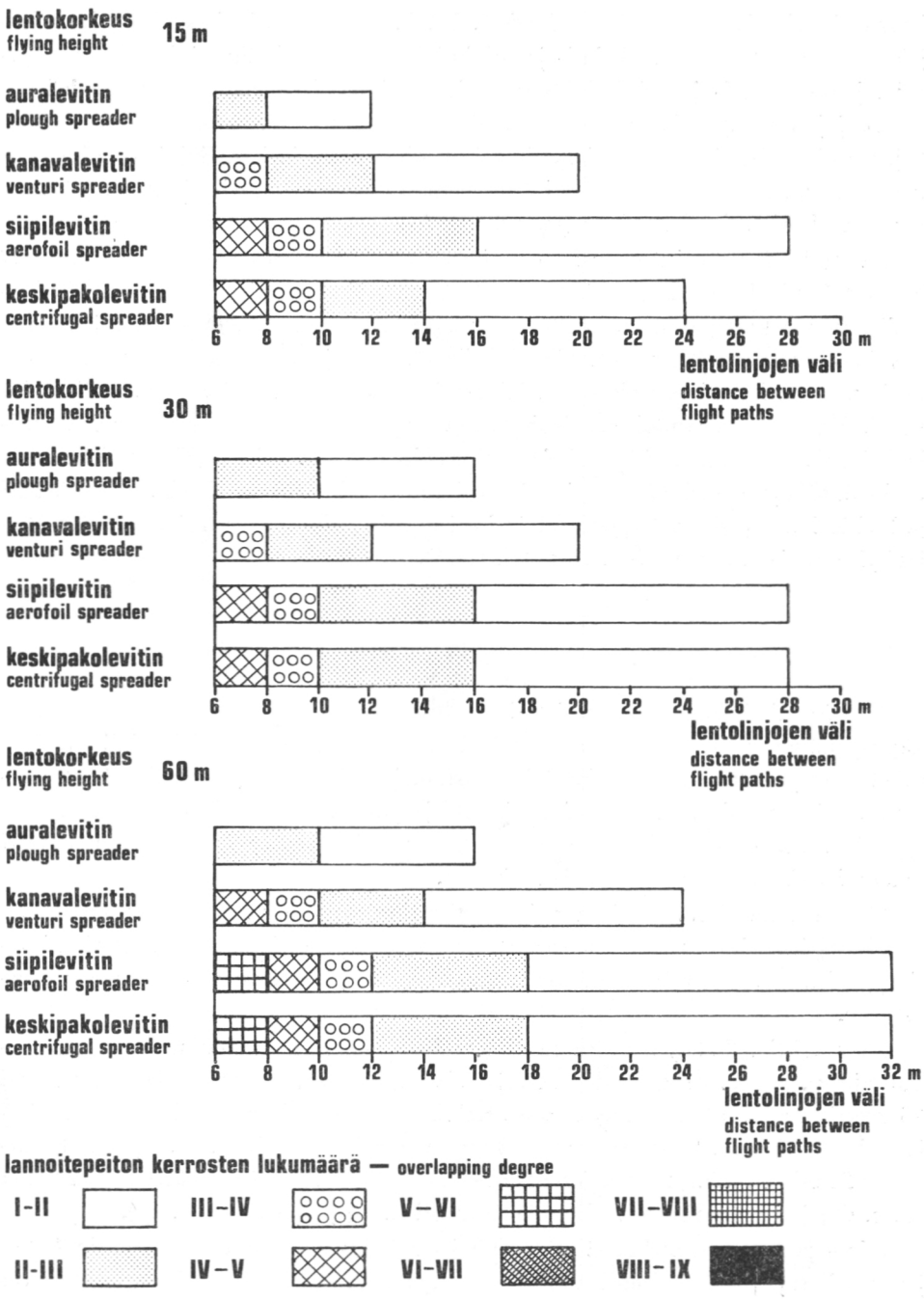
Pienirakeisen urean levityksessä myös keskipakolevitin vastasi levitysteholtaan potkuri- ja ilmavirralla toimivia levittimiä, sillä 300—350 kg:n hehtaariannostus saavutettiin käyttämällä lentolinjojen välisenä etäisyytenä kahdeksaa metriä (kuva 26, s. 64). Lannoitepeitto muodostui tällöin 3—5 kerroksiseksi. Lentokorkeudella oli myös keskipakolevittimen osalta huomattava merkitys optimaaliseen lannoitustasaisuuteen, sillä lannoitemäärän hajontaa kuvaava optimaalinen variaatiokerroin oli 15 metrin peruslentokorkeutta käytettäessä n. 15 % ja pieneni n. 10 %:iin lentokorkeuden noustessa 30 metriin. 60 metrin lentokorkeutta käytettäessä optimaalinen variaatiokerroin jäi jo alle 5 %:n (kuva 26, s. 64).

Kaikilla testatuilla levittimillä levityskaista jäi pienirakeista ureaa käytettäessä kapeammaksi kuin jauhemaisen PK-lannoksen levityksessä. Tästä syystä pienirakeisen urean levityksessä, erityisesti 6—12 metrin lentolinjaetäisyyksia käytettäessä, lannoitepeiton kerrostuneisuus jäi sekä potkuri- ja ilmavirralla toimivilla että keskipakolevittimellä selvästi vähäisemmäksi kuin jauhemaisen lannoitteen levityksessä (kuvat 25, s. 61 ja 27, s. 65). Kokonaislannoitemäärän hajonta muodostui tällöin pienirakeisen urean levityksessä myös hiukan suuremmaksi kuin jauhemaisella lannoitteella (kuvat 24, s. 60 ja 26, s. 64).

Lentolinjojen välimatkan kasvaessa lannoitepeiton kerrosten lukumäärä luonnollisesti pieneni ja sen seurauksena kokonaislannoitemäärän hajonta kasvoi. Siipi- ja keskipakolevittimellä optimaalista lannoitustasaisuutta kuvaavan variaatiokertoimen



Kuva 26. Optimaalinen lannoitustasaisuus pienirakeisen urean levityksessä.
Figure 26. The optimum fertilization evenness when spreading finely granulated urea.



Kuva 27. Lentolinjojen välimatkasta riippuva lannoitepeiton kerrosten lukumäärä pienirakeisen urean levityksessä.

Figure 27. Effect of the distance between flight paths on the overlapping degree when spreading finely granulated urea.

kasvu ei kuitenkaan ollut suoraviivaista. Näillä levittimillä levityskaistan lannoitejakautumassa oli useita maksimi- ja minimipisteitä ja limittäin sijoittuvien levityskaistojen maksimi- ja minimipisteet osuivat eri tavoin päällekkäin vierekkäisten lentolinjojen etäisyyksien muuttuessa. Tästä syystä myös kokonaislannoitemäärän hajonta ei tasaisesti kasvanut lannoitepeiton ohentuessa ja lentolinjojen välimatkan kasvaessa, vaan optimaalista lannoitustasaisuutta kuvaavasta variaatiokerroinkäyrästä muodostui selvästi aaltomainen (kuva 26, s. 64).

Levityskorkeuden lisääntymisen optimaalista lannoitustasaisuutta parantava vaikutus tuli pienirakeista lannoitetta käytettäessä selvästi ilmi erityisesti auralevittimellä, mutta keskipakolevittimellä ja osin kanavalevittimelläkin tämä oli selvästi havaittavissa (kuva 26, s. 64). Siipilevittimellä sen sijaan lentokorkeuden vaikutus optimaaliseen lannoitustasaisuuteen jäi pienirakeisen urean levityksessä melko pieneksi. Jauhemaisen lannoitteen levityksessähän lentokorkeuden lisäys tasoitti siipilevittimellä huomattavasti lannoitejakautumaa, mutta tätä voidaan pitää poikkeavana ilmiönä, sillä jauhemainen lannoite ei soveltunut täysin siipilevittimellä levitettäväksi ja levitin käyttäytyi tästä syystä selvästi eri tavalla kuin rakeistettujen lannoitteiden levityksessä (vrt. kuvat 24, s. 60 ja 26, s. 64).

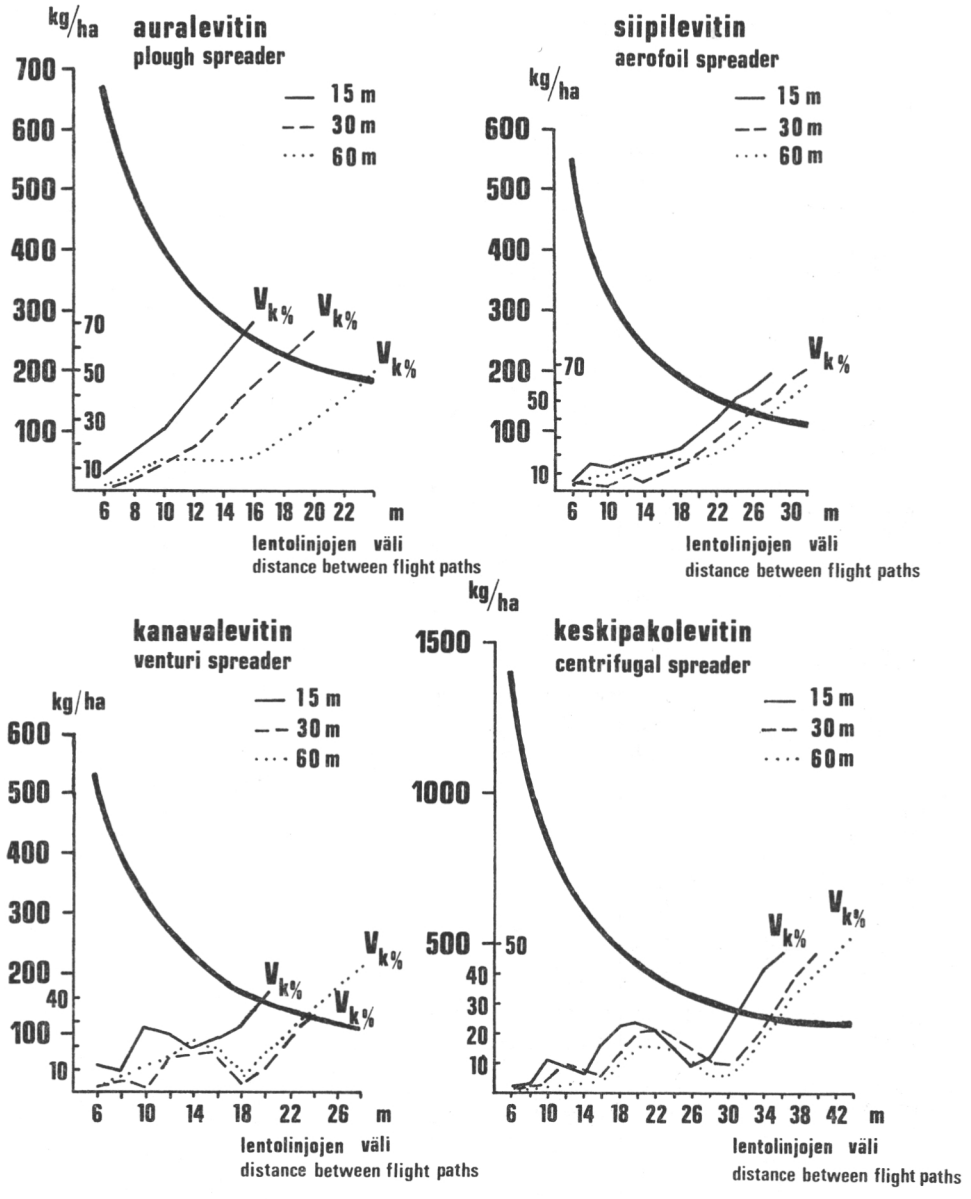
73. Keskisuurirakeiset lannoitteet

Keskisuurirakeinen oulunsalpietari soveltui levityskokeiden perusteella parhaiten käytetyistä lannoitteista tutkittavina olleille levitinlaitteille. Se levisi kaikilla levittimillä lähes yhtä leveälle kaistalle kuin suurirakeinen lannoite, ja lannoitejakautumaltaan sen levityskaista oli selvästi tasaisempi ja yhtenäisempi kuin muiden lannoitetyyppien. Sivutuulikokeiden perusteella sen »tuulenkestävyys» oli myös selvästi parempi kuin muilla testatuilla lannoitteilla.

Tulokset keskisuurirakeisen oulunsalpietarin levityksessä saavutettavasta optimaalisesta lannoitustasaisuudesta osoittivat myös kaikkien kokeissa käytettyjen levitintyyppien osalta tämän lannoitteen soveltuvan hyvin ilmasta tapahtuvaan levitykseen.

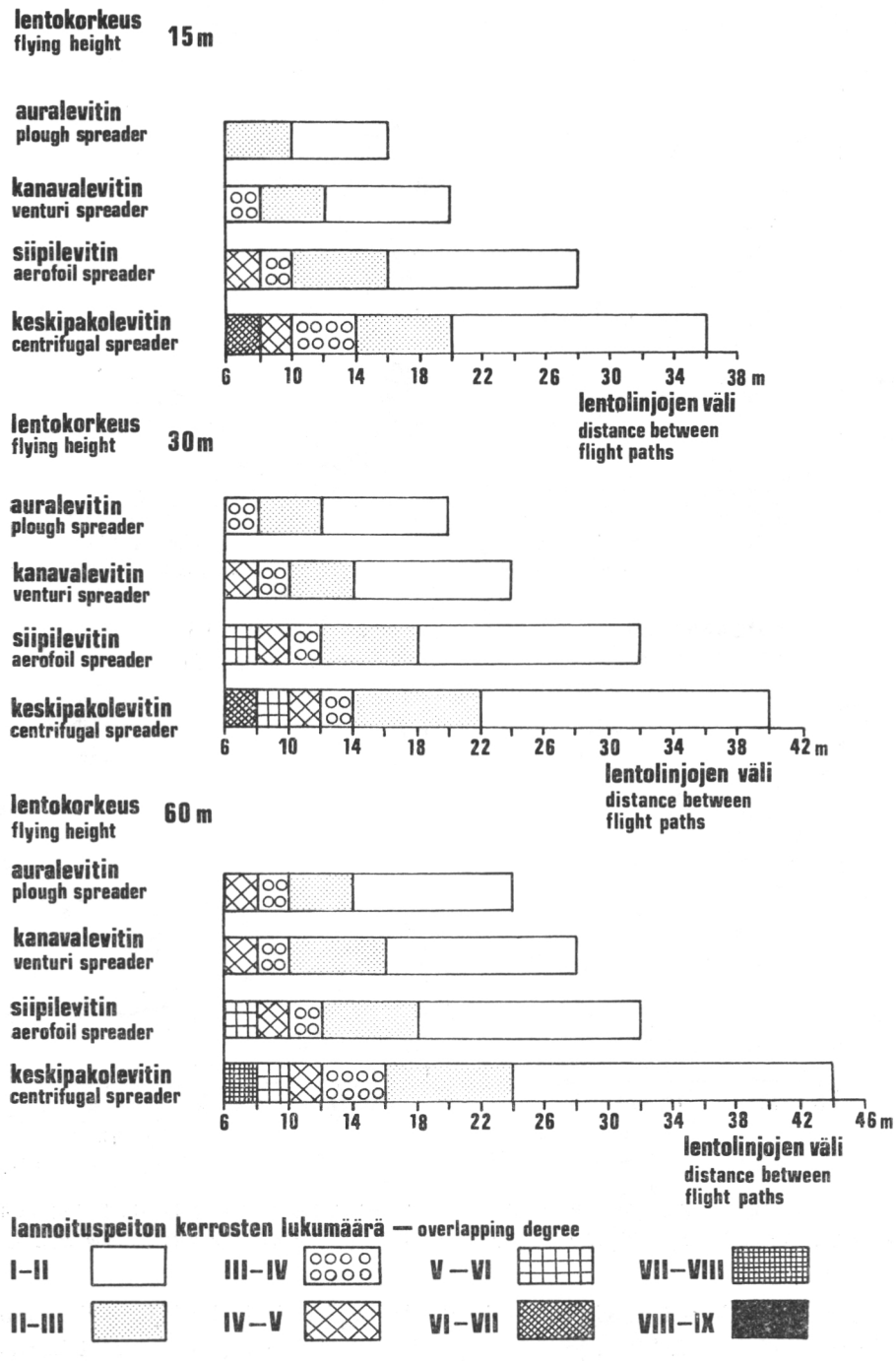
Auralevittimellä käytännössä vaadittava 500—600 kg:n hehtaariannostustaso saavutettiin n. kahdeksan metrin lentolinjaväliä käyttämällä. Lannoitepeitto muodostui 15 metrin lentokorkeutta käytettäessä tällöin vain 2—3 kertaiseksi ja optimaalista lannoitustasaisuutta kuvaava variaatiokerroin nousi n. 15 %:iin. Levityksen tapahtuessa 30 tai 60 metrin korkeudesta lannoitepeitto oli vähintään 3—4 kertainen (kuva 29, s. 68) ja optimaalinen variaatiokerroin oli n. 10 % (kuva 28, s. 67).

Siipi- ja kanavalevittimellä 500—600 kg:n hehtaariannostus saavutettiin kuten jauhemaisen ja pienirakeisen lannoitteen levityksessä, kun lentolinjojen välimatka oli kuusi metriä. Siipilevittimellä lannoitepeitto oli tällöin lentokorkeudesta riippumatta aina vähintään nelinkertainen ja optimaalinen variaatiokerroinkin jäi 5—10 %:iin (kuva 28, s. 67).



Kuva 28. Optimaalinen lannoitustasaisuus keskisuurirakeisen oulunsalpietarin levityksessä.
Figure 28. The optimum fertilization evenness when spreading Oulu saltpeter with medium sized grains.

Kanavalevittimellä keskisuurirakeisen oulunsalpietarin levityskaista oli kapeampi kuin siipilevittimellä. Tästä johtuen myös lannoitepeitto muodostui sillä harvempi kerroksiseksi. Optimaaliseen lannoitustasaisuuteen tällä oli vaikutusta lähinnä käytettäessä 15 metrin levityskorkeutta, jolloin lannoitepeitto oli 3—4 kerroksinen ja



Kuva 29. Lentolinjojen välimatkan vaikutus lannoitepeiton kerrosten lukumäärään keskisuurirakeisen oulunsalpietarin levityksessä.

Figure 29. Effect of the distance between flight paths on the overlapping degree when spreading Oulu saltpeter with medium sized grains.

optimaalinen variaatiokerroin nousi hieman yli 10 %:iin, kun se 30 tai 60 metrin lentokorkeutta käytettäessä, jolloin lannoitepeitto oli vähintään 4-kerroksinen, jäi n. 5 %:iin (kuva 28, s. 67).

Keskipakolevittimen teho keskisuurirakeisen lannoitteen levityksessä oli potkuri- ja ilmavirralla toimiviin levittimiin nähden n. kaksinkertainen, 500—600 kg:n hehtaariannostustaso saavutettiin sillä käyttämällä 12—14 metrin lentolinjaväliä, jolla aura-, siipi- ja kanavalevittimellä päästiin vasta n. 200—250 kg:n hehtaariannostuksiin (kuva 28, s. 67). 14 metrin lentolinjaväliä käytettäessä lannoitepeitto muodostui keskipakolevittimellä kaikilla levityskorkeuksilla vain 3—4 kertaiseksi (kuva 29, s. 68), mutta tästä huolimatta optimaalista lannoitustasaisuutta kuvaava variaatiokerroin ei noussut yli 10 %:in (kuva 28, s. 67).

Lentokorkeuden kohotessa 15 metrin peruslentokorkeudesta keskimääräinen levityskaista leveni keskisuurirakeisen oulunsalpietarin levityksessä kaikilla testatuilla levittimillä. Lentolinjojen välimatkan pysyessä vakiona lannoitepeiton kerrosten lukumäärä lisääntyi tasaisesti (kuva 29, s. 68), mutta optimaaliseen lannoitustasaisuuteen tällä ei juuri ollut vaikutusta niin kauan kuin lannoitepeitto pysyi vähintään 4-kerroksisena (vrt. kuva 28, s. 67 ja kuva 29, s. 68).

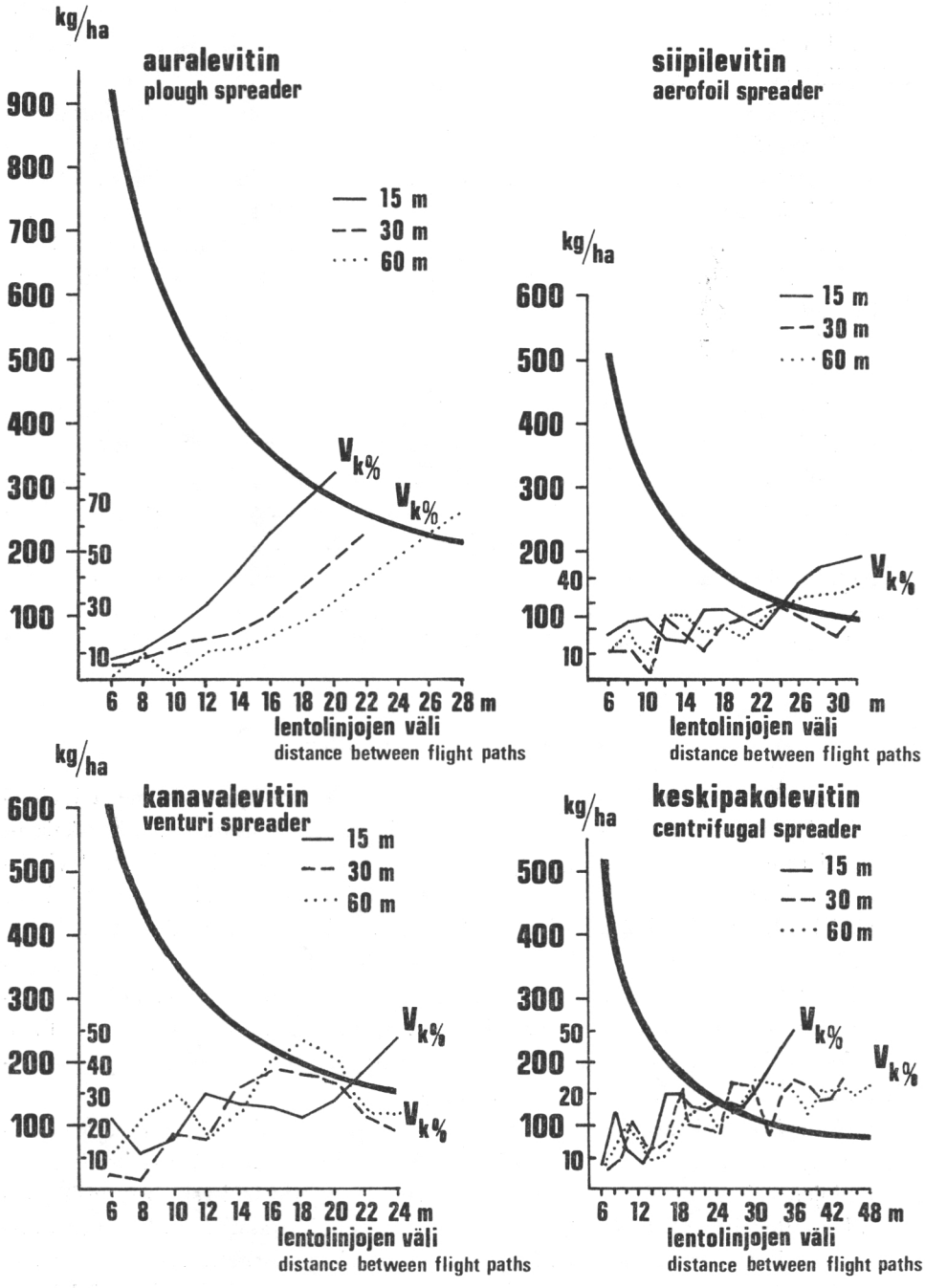
Lentolinjojen etäisyyden kasvaessa yli 10—12 metrin, lannoitepeitto oli yleensä enää vain 1—3 kerroksinen ja tällöin lentokorkeuden lisääntymisestä johtuva lannoitejakautuman tasoittuminen oli jo selvästi nähtävissä (kuva 28, s. 67).

74. Suurirakeiset lannoitteet

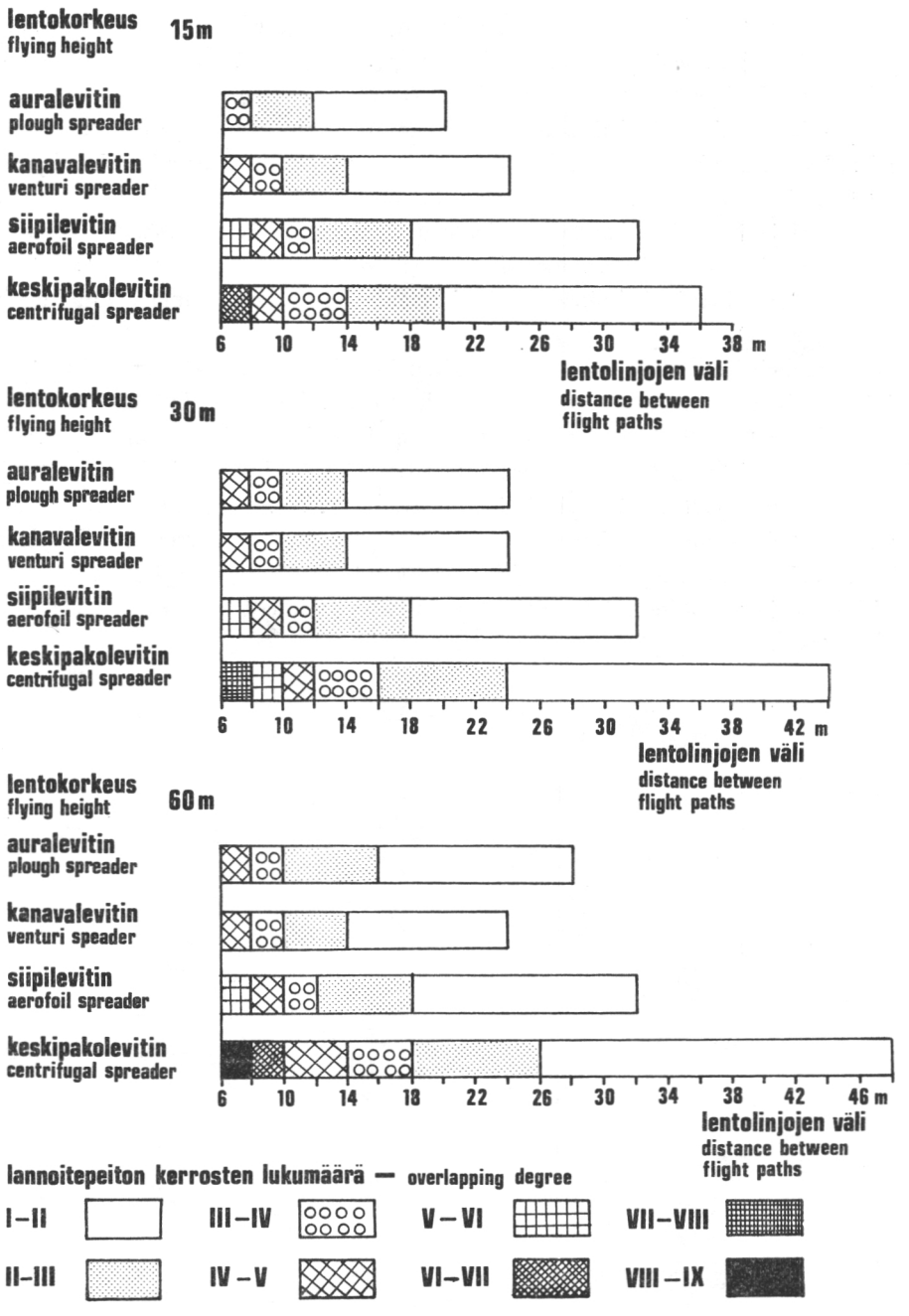
Suurirakeinen metsäsalpietari soveltui hyvin ainoastaan auralevittimellä levitettäväksi. Myös siipi-, kanava- ja keskipakolevittimellä keskimääräisen levityskaistan leveys oli samaa luokkaa tai leveämpi kuin keskisuurirakeisen lannoitteen levityksessä, mutta lannoitteen suuri raekoko aiheutti toimintahäiriöitä ja levityskaistan lannoitejakautuma jäi näillä levittimillä varsin epätasaiseksi (kuva 17, s. 43).

Optimaaliseen lannoitustasaisuuteen suurirakeisen lannoitteen huonot levitysominaisuudet vaikuttivat huomattavasti. Ainoastaan auralevittimellä kokonaislannoitemäärän hajontaa eri lentolinjaetäisyyksiä käytettäessä kuvaava optimaalinen variaatiokerroinkäyrä oli, kuten muiden koelannoitteiden kohdalla, melko suoraviivainen nouseva käyrä (kuva 30, s. 70).

Ravinnepitoisuudeltaan metsäsalpietari vastasi oulunsalpietaria ja tavoiteannostuksena myös sillä pidettiin 500—600 kg/ha. Auralevittimellä tämä saavutettiin, kun lentolinjojen välimatka oli 10 m (kuva 30, s. 70). 15 metrin levityskorkeutta käytettäessä lannoitepeitto oli tällöin 2—3 kertainen ja lannoitustasaisuutta kuvaava optimaalinen variaatiokerroin nousi n. 15 %:iin. Kun levitys suoritettiin 30 tai 60 metrin korkeudesta lannoitepeitto muodostui kahdeksan metrin lentolinjaetäisyyttä käytettäessä 3—4 kertaiseksi (kuva 31, s. 71). Lentokorkeuden lisäämisen vaikutus tuntui tällöinkin selvästi optimaalisessa lannoitustasaisuudessa, sillä 30 metrin lentokorkeutta



Kuva 30. Optimaalinen lannoitustasaisuus suurirakeisen metsäsalpietarin levityksessä.
Figure 30. The optimum fertilization evenness when spreading coarsely granulated forest saltpeter.



Kuva 31. Lentolinjojen välimatkan vaikutus lannoitepeiton kerrosten lukumäärään suurirakeisen metsäsalpietarin levityksessä.

Figure 31. Effect of the distance between flight paths on the overlapping degree when spreading coarsely granulated forest saltpeter.

käytettäessä optimaalinen variaatiokerroin oli n. 10 %. 60 metrin lentokorkeutta käytettäessä se jäi alle 5 %:n, vaikka lannoitepeitto oli yhtä monikerroksinen kuin suoritettaessa levitys 30 metrin korkeudelta (kuva 30, s. 70).

Siipi- ja keskipakolevittimillä, joilla toimintahäiriöt olivat suurimmat suurirakeista lannoitetta levitettäessä, lentokorkeuden lisääminen ei sen sijaan juuri parantanut lannoitustasaisuutta. Näillä levittimillä 500—600 kg:n hehtaariannostus saavutettiin juuri ja juuri kuuden metrin lentolinjaetäisyyttä käytettäessä. Optimaalinen variaatiokerroin oli tällöin keskipakolevittimellä n. 10 % ja siipilevittimellä n. 15 %, vaikka molemmilla levittimillä saatiinkin vähintään 5-kerroksinen lannoitepeitto (kuva 31, s. 71).

Kanavalevittimellä 500—600 kg:n tavoitehehtaariannostus saavutettiin, kun lentolinjojen välimatka oli 6—8 metriä. Lannoitepeitto oli tällöin aina vähintään nelikerroksinen, mutta tästä huolimatta optimaalista lannoitustasaisuutta kuvaava variaatiokerroin nousi 15 metrin lentokorkeutta käytettäessä yli 20 %:iin ja 30 metrinkin lentokorkeutta käytettäessä se ylitti 10 % (kuva 30, s. 70). Tässäkin suhteessa tulokset suurirakeisen metsäsalpietarin levityksessä poikkesivat totutusta, sillä yleensä nelikerroksinen lannoitepeitto takasi lentokorkeudesta riippumatta hyvän lannoitustasaisuuden ja lannoitemäärän hajontaa kuvaava variaatiokerroin ylitti harvoin 10 %:n tason.

8. TULOSTEN TARKASTELU

81. Tulosten tarkkuus

Tutkimuksen aikana kehitetyn ja käytetyn lannoitenäytteiden keräyskaluston ja mittausmenetelmän oli sovelluttuva myös käytännön työmaiden tarkkailuun. Tämän vuoksi laitteisto oli kehitettävä kevyeksi ja helppokäyttöiseksi. Mittasuppilon muodon ja materiaalin todettiin kokeiluvaiheessa silmävaraisesti suppilosta poiskimpoavien lannoiterakeiden esiintymistä tarkkailtaessa vaikuttavan huomattavasti tuloksen tarkkuuteen. Mittasuppilon materiaalissa pehmyt kangas osoittautui parhaaksi, pehmeän materiaalin estäessä lannoiterakeiden kimpoamisen suppilon pohjasta tai seinämistä.

Kooltaan mitta-astiat voitiin valmistaa melko pieniksi ja keveiksi, sillä mitta-astian koko ei juuri vaikuttanut mittaustuloksen tarkkuuteen, kuten myös Baltin ja Brant (1966) toteavat. Mitta-astioiden lukumäärällä mittaustulokseen sen sijaan oli selvästi vaikutusta. Lannoitemäärän toteamiseen levityskaistalla riitti mitta-astiarivi, jossa astioiden etäisyys oli kaksi metriä. Tätä pienempi astiaväli olisi lisännyt työmäärää ja hidastanut mittausta eikä tulos kuitenkaan olisi ollut oleellisesti tarkempi (vrt. Lee ja Stephenson 1971).

Lannoitenäytteiden painonmääritys pienirakeisella urealla tilavuuspainon ja näytetilavuuden perusteella oli tarkka. Urean keskimääräisen tilavuuspainon ja tilavuusmittarilla määritettyjen näytteiden tilavuuksien perusteella lasketut näytepainot vastasivat hyvin punnitustuloksia, korrelaatiokertoimien ollessa 0.96. Tulos vastasi Ruotsissa (Gustavsson 1972) vastaavan tilavuusmittarin käytöstä saatuja kokemuksia. Myös raepainomenetelmä keskisuurirakeisen lannoitteen näytepainon määrityksessä antoi erittäin tarkan mittaustuloksen. Tämän läpimittaluokittain keskimääräisten raepainojen ja raeluvun avulla suoritettavan painonmäärityksen ja punnitusmenetelmän korrelaatiokerroin oli 0.99.

Varsinaisen levitinlaite- ja lentotekniikkatutkimuksen kannalta ei katsottu tarpeelliseksi pyrkiä suureen tilastomatemaattiseen tulostarkkuuteen, koska lähinnä kaivattiin käytäntöä varten perustietoja, joissa tulosten tuli antaa suunnaltaan ja suuruusluokaltaan kelvollista tietoa. Suureen koemäärään käytettävissä olevat resurssitkin olivat liian vähäiset, joten tutkimuksen ensimmäisessä osassa saatujen kokemusten perusteella koeohjelma rajoitettiin melko suppeaksi. Päämääränä pidettiin sitä, että tutkittava tekijä saatiin kussakin koesarjassa vakiotasolle.

Tulosten tarkkuuden kannalta koeolosuhteita koskevat rajoitukset osoittautuivat välttämättömiksi. Koealueen sää- ja tuuliolosuhteissa tapahtuvat hetkelliset muutokset ja lentosuorituksessa esiintyvät virheet vaikuttivat huomattavasti koesuorituksiin ja mitattavan tekijän muutoksiin. Tämän johdosta myös koemäärä laajeni huomattavasti alkuperäisistä suunnitelmista, koska tietty minimimäärä virheettömiä koetoistoja oli saavutettava. Kaikkiaan noin kolmasosa kokeista jouduttiin suorittamaan uudelleen, koska suoritushetken olosuhteet eivät vastanneet koeolosuhteiden vaatimuksia tai sitten lentosuorituksessa oli puutteita.

82. Levitinlaitteen ja lannoitteen vaikutus

Nyt tutkituista levittimistä ainoastaan auralevitin oli Suomessa metsänlannoitustyöhön suunniteltu levitintyyppi. Kanava-, siipi- ja keskipakolevitin taas olivat lähinnä yleiskäyttöön suunniteltuja lannoituslentokoneiden vakiovarusteita. Kaikki testatut levittimet oli tarkoitettu suurten lannoiteannosten levittämiseen, mutta aura-, kanava- ja siipilevittimellä n. 12—16 kg/s oli suurin kerta-annostus, jolla levitin vielä toimi moitteettomasti (vrt. A k e s s o n ym. 1968, s. 639). Keskipakolevitin oli tässä suhteessa selvästi muita suuritehoisempi, sen toiminnan ollessa moitteetonta vielä, kun kerta-annostus nousi n. 20 kg:aan/s.

Testatuista levitinlaitteista auralevitin oli rakenteeltaan yksinkertaisin. Se oli myös toimintavarmin, soveltuen sekä jauhemaisten että rakeisten lannoitteiden levitykseen. Auralevittimen levitysominaisuudet olivat sen yksinkertaisesta rakenteesta johtuen kuitenkin selvästi heikommat kuin muilla levittimillä. Levityskaista jäi varsinkin rakeisten lannoitteiden levityksessä kapeaksi ja pääosa lannoitteesta kasautui kaistan keskiosaan.

Levityskaistan leveyttä on potkuri- ja ilmavirralla toimivilla levittimillä pyritty lisäämään suurentamalla levittimestä irtoavien lannoiterakeiden sivuliikettä. Levittimen muodolla ja rakenteella on tässä suhteessa huomattava vaikutus, kuten myös N e l s o n (1963) toteaa. Kokeissa käytetyt siipi- ja auralevittimet olivat teknisesti auralevitintä monimutkaisempia, mutta myös levityskaistan leveys on niillä huomattavasti suurempi.

Tässä tutkimuksessa testatuille kanava- ja siipilevittimille soveltuivat parhaiten pieni- ja keskisuurirakeiset lannoitteet, raskaan jauhemaisen lannoitteen ja suurirakeisen lannoitteen levityksessä laitteilla sen sijaan oli toimintavaikeuksia.

Auralevittimeen verrattuna (levityskaistan leveys lentokorkeudesta riippuen 12—16 m) pienirakeinen urea levisi kanavalevittimellä n. 70 % ja siipilevittimellä n. 130 % leveämmälle kaistalle. Keskisuuri- ja suurirakeisten lannoitteiden levityksessä kanavalevittimen levityskaista oli 20—25 % ja siipilevittimen 50—60 % leveämpi kuin auralevittimellä, jolla levityskaistan leveys vaihteli lentokorkeudesta riippuen 16—28 metriin.

Levityskokeissa lannoitteen syöttönopeus oli sekä kanava- ja siipilevittimellä että auralevittimellä samaa suuruusluokkaa (n. 13—15 kg/s). Koska lannoite kanava- ja

siipilevittimellä levisi kuitenkin huomattavasti laajemmalle alalle kuin auralevittimellä, lannoitejakautuman keskiarvo oli näiden levittimien levityskaistoilla selvästi pienempi kuin auralevittimellä.

Keskipakolevittimessä lannoitehiukkaset saivat leviämiseen tarvittavan liikevoiman heittopyörässä. Levitin soveltui hyvin jauhemaiselle pienirakeiselle ja keskisuurirakeiselle lannoitteelle, suurirakeisen lannoitteen rakeiden pyrkiessä murskautumaan heittopyörässä tai lannoitteen syöttimessä.

Potkuri- ja ilmavirralla toimiviin levittimiin verrattuna keskipakolevittimen levitysteho oli selvästi suurempi. Jauhemaisen ja pienirakeisen lannoitteen levityksessä levityskaista oli yhtä leveä kuin aura-, kanava- tai siipilevittimellä. Keskisuuri- ja suurirakeinen lannoite puolestaan lensivät keskipakolevittimellä n. 25—30 % leveämmälle kaistalle kuin siipilevittimellä, jolla potkuri- ja ilmavirralla toimivista levittimistä oli laajin levityskaista.

Lannoitteen syöttönopeus oli keskipakolevittimellä n. 35—40 % suurempi kuin potkuri- ja ilmavirralla toimivissa levittimissä ja tästä syystä myös levityskaistan keskimääräinen lannoitemääräkin oli suurempi. Vakionopeudella tapahtuva lannoitteen pakkosyöttö näytti myös parantavan levityskaistan pituussuuntaista lannoitejakautumaa, sillä keskipakolevittimellä se oli hiukan parempi kuin muilla testatuilla levittimillä, joilla lannoite valui levittimeen omalla painollaan.

Lannoitteen rakeistaminen paransi myös levityskaistan pituussuuntaista lannoitejakautumaa. Raekoon osalta nyt testatut levittimet soveltuivat parhaiten pieni- tai keskisuurirakeisten lannoitteiden levitykseen, suurten halkaisijaltaan + 6 mm:n rakeiden aiheuttaessa niissä selviä toimintahäiriöitä, joiden seurauksena lannoitejakautuman hajonta sekä levityskaistan pituus- että poikittaissuunnassa voimakkaasti kohosi. Kokeissa käytetyn suurirakeisen lannoitteen raemuoto oli kuitenkin epäsäännöllisempi ja sen sisäinen raejakautuma laajempi ja vaihtelevampi kuin pieni- ja keskisuurirakeisilla lannoitteilla, jotka seikat saattoivat myös vaikuttaa levityskaistan lannoitejakautuman hajontaan.

Lannoitteen sisäisen raejakautuman vaikutus lannoitejakautumaan myös levityskaistan poikkisuunnassa oli kaikilla testatuilla levittimillä, lukuunottamatta kanavalevitintä, varsin huomattava. Pieni- ja keskisuurirakeisten lannoitteiden levityksessä 2—4 mm:n raefraktio määräsi levityskaistan leveyden. Kanavalevittimellä kuitenkin levityskaistan raejakautuma noudatti aina melko tarkasti lannoitteen alkuperäistä raejakautumaa. Aura- ja siipilevittimellä 4—6 mm:n raefraktio levisi aina selvästi kokonaislevityskaistaa kapeammalle alueelle, keskipakolevittimellä sen sijaan 4—6 mm:n raefraktion osuus voimakkaasti nousi levityskaistan reunoille ja 1—2 mm:n raefraktio taas levisi selvästi kokonaislevityskaistaa kapeammalle vyöhykkeelle.

Levittimien toimintaperiaatteen ja rakenteen eroista johtuen on jossakin määrin vaikeata yksiselitteisesti määritellä, millainen lannoitteen sisäinen raejakautuma levitysominaisuuksien kannalta tulisi olla. Kuitenkin lannoitteen sisäisen raejakautuman hajontaa, jossa suurimman ja pienimmän raefraktion keskipainon ero on yli 3—4 kertainen, on pidettävä liiallisena, samoin lannoitteen sisäisen raeläpimitan vaihtelu

olisi syytä rajoittaa 3—4 mm:iin. Parhaaseen levityskaistan lannoitejakautumaan nykyisillä levittimillä päästään joka tapauksessa käytettäessä lannoitetta, jossa raeläpimitta on 2—5 mm, kuten myös Switzer (1972) sekä Heymann ja Schultz (1973) ovat todenneet.

Rakeistamista on mekaanisten seoslannoitteiden osalta muutenkin pidettävä välttämättömänä, sillä jauhemaisen mekaanisen seoslannoitteen levityskokeissa ravinneanalyysit osoittivat ravinnekomponenttien suhteiden muuttuvan levityksen yhteydessä tyynissäkin olosuhteissa. Selvimmin tämä ilmeni potkuri- ja ilmavirralla toimivilla levittimillä, joilla n. 10—15 % lannoitteen sisältämästä kalisuolasta siirtyi koneen jättövirtauksissa varsinaisen levityskaistan ulkopuolelle. Tässä suhteessa keskipakolevitin oli ehdottomasti potkuri- ja ilmavirralla toimivia levittimiä parempi, sillä lannoite ei joutunut heti levittimestä koneen aiheuttamien ilmavirtojen kuljetettavaksi, vaan levittimen heittopyörä sinkosi lannoitehiukkaset koneen aiheuttaman ilmavirran ulkopuolelle. Vasta lähellä maanpintaa koneen aiheuttamat jättöpyörteet tavoittivat lannoitevanan ja koneen siipien kärjistä erkaantuvissa alaspäin painuvissa ilmapyörteissä (Anon 1971 s. 1), jotka samalla kulkeutuivat poispäin koneen lentolinjasta, hienojakoista lannoitepölyä siirtyi varsinaisen levityskaistan ulkopuolelle.

Lannoitteen ravinnejakautuman vaihtelun vaikutus lannoituksen tulokseen on toistaiseksi vielä osin selvittämättä. On kuitenkin todettava, että paras tulos lannoituksella yleensäkin saavutetaan, kun eri ravinteita annetaan oikeassa suhteessa toisiinsa nähden (Huikari ja Paavilainen 1972 s. 23). Tästä syystä on suositeltavaa, että seoslannoitteet rakeistetaan, jolloin lannoitteen sisältämien ravinteiden suhteissa ei enää levityksen yhteydessä pääse tapahtumaan muutoksia.

83. Lentotekniikan ja tuulen vaikutus

Käsillä olevassa tutkimuksessa testattujen levitinlaitteiden levityskaista leveni ja lannoitejakautuma tasoittui, kun lentokorkeutta lisättiin, samaan ovat tutkimuksissaan päätyneet myös Miller (1956), Scott (1970) sekä Heymann ja Schultz (1973). Auralevittimellä lentokorkeuden noston vaikutus lannoitejakautumaan oli selvimmin havaittavissa, sillä sen maksimiarvot pienenivät n. 20—30 % sekä jauhemaisen että rakeisten lannoitteiden levityksessä, kun lentokorkeus nostettiin 15 metristä 30 metriin. Lentokorkeuden nosto 30 metristä 60 metriin aiheutti auralevittimellä vielä n. 10—20 %:n laskun lannoitejakautuman huippuarvoihin. Kanava-, siipi- ja keskipakolevittimellä lannoitejakautuman tasoittuminen lentokorkeutta lisättäessä oli selvästi pienempi kuin auralevittimellä, sillä kun lentokorkeus rakeisten lannoitteiden levityksessä nostettiin 15 metristä 60 metriin lannoitejakautuman maksimiarvot näillä levittimillä laskivat yhteensä vain n. 5—15 %. Jauhemaisen lannoitteen levityskokeissa levityskaistan lannoitejakautuman tasoittuminen oli hieman tätä voimakkaampi varsinkin kanava- ja siipilevittimellä.

Jauhemaisen lannoitteen levityksessä aura-, kanava-, siipi- ja keskipakolevittimen levityskaistat olivat likipitäen yhtä leveät sekä 15 metrin että 30 metrin levityskorkeutta käytettäessä. Käytäntöä ajatellen 30 m oli jauhemaisen lannoitteen levityksessä liian suuri, sillä hienojakoisin osa lannoitteesta laskeutui melko hitaasti maahan, ja ajautui vähäisenkin ilmavirran mukana useita kymmeniä metrejä.

Lentokorkeutena 60 metriä osoittautui koeolosuhteissakin jauhemaisen lannoitteen levityksessä liian suureksi, sillä kaikilla levittimillä suoritetuissa kokeissa lannoitevana alkoi hajaantua epämääräiseksi pilveksi. Lisäksi lannoitteen pölymäinen aineosa pysyi ilmassa useita minuutteja ja saattoi ajautua vähäisten ilmavirtojen mukana jopa 100—200 metriä.

Rakeisten lannoitteiden levityksessä lentokorkeuden lisäyksen vaikutus levityskaistan leveyteen ei ollut yhtä selväpiirteinen kuin jauhemaisella lannoitteella. Auralevittimellä lentokorkeuden nelinkertaistuminen 15 metristä 60 metriin laajensi levityskaistan rakeistettujen lannoitteiden levityksessä n. 40—50 %. Pienirakeisen lannoitteen kohdalla levityskaistan leveys pysyi kuitenkin lähes vakiona lentokorkeuden kasvaessa 30 metristä 60 metriin. Myös keskipakolevittimellä lentokorkeuden lisäyksen vaikutus levityskaistan leveyteen oli suuri. Keskimäärin sen levityskaista leveni kaikilla rakeisilla lannoitteilla n. 25—35 %, kun lentokorkeus nousi 15 metristä 60 metriin.

Kanava- ja siipilevittimellä lentokorkeuden kohottamisen vaikutus levityskaistan leveyteen vaihteli voimakkaasti levitettävästä lannoitteesta riippuen. Pienirakeisen lannoitteen levityksessä lentokorkeuden kaksinkertaistaminen 15 metristä 30 metriin ei niillä levittimillä aiheuttanut muutosta levityskaistan leveydessä. Lentokorkeuden edelleen kaksinkertaistuessa kanavaletittimen levityskaista leveni n. 20 %, mutta siipilevittimellä lisäys jäi n. 5 %:iin. Keskisuurirakeisen lannoitteen levityksessä kanavalevittimen levityskaistan leveys kasvoi n. 40 % lentokorkeuden noustessa 15 metristä 60 metriin, siipilevittimellä lisäys oli tällöinkin vain n. 15 %. Suurirakeisen lannoitteen levityksessä nämä levittimet poikkesivat eniten aura- ja keskipakolevittimistä, sillä lentokorkeuden lisäys ei vaikuttanut niillä lainkaan levityskaistan leveyteen.

Mielenkiintoisena piirteenä kaikkien testattujen levittimien kohdalla oli, että 15 metrin peruslentokorkeudelta suoritetuissa levityskokeissa lannoitemäärä vasemmalla puolen koneen lentolinjaa oli 3—4 % suurempi kuin oikealla. Lentokorkeuden kasvaessa tämä ilmiö heikkeni potkuri- ja ilmavirralla toimivilla levittimillä, kun taas keskipakolevittimellä se tuli yhä selvemmäksi. Todennäköisenä syynä tähän ilmiöön oli se, että kaikissa käytetyissä lannoituslentokoneissa oli oikeakätinen vetopotkuri, jonka aiheuttama kierteinen ilmavirta ohjasi levittimestä irtoavaa lannoitetta koneen vasemmalle puolelle (vrt. A n o n 1967 b s. 12). Lentokorkeuden lisääntyessä koneen jättövirtaukset kuitenkin vaikuttivat lannoitevanaan niin paljon, että lannoitejakautuma koneen lentolinjan suhteen tasoittui potkuri- ja ilmavirralla toimivilla levittimillä. Keskipakolevittimellä lentokorkeuden lisäyskään ei tasoittanut lannoitejakautumaa, sillä levittimen heittopyörän pyörimissuunnan ja potkurin aiheuttaman ilma-

virran vaikutus levittimestä sinkoutuvien hiukkasten leviämissuuntaan oli niin suuri, että koneen jättövirtaukset eivät pystyneet sitä kumoamaan.

Levityskaistan lannoitejakautumaan vaikutti myös koneen lentoasento huomattavasti, sillä jo 20° kallistus aiheutti levittimessä vajaatoimintaa, jonka seurauksena alas painuneen siiven puolella levityskaista kapeni ja lannoitejakautuman profiili jyrkkeni. Toisella puolen lentolinjaa levityskaista taas leveni koneen aiheuttamien ilmavirtausten työntäessä lannoitevanaa sivullepäin (vrt. Anon 1973 a s. 47). Käytännössä tämä tietää sitä, että levitystyön aikana koneen lentoasento on pidettävä täysin vakaana niin kauan kuin lannoite purkautuu koneesta.

Sivutuulen vaikutus levityskaistan lannoitejakautumaan oli samankaltainen kuin koneen lentoasennolla. Koneen lentolinjan suuntaisella tuulella taas ei ollut juuri merkitystä ennenkuin sen nopeus kohosi n. 5 m:iin/s, jolloin leviävä lannoitevana alkoi hajaantua. Vastaavan ilmiön on myös Switzer (1972) todennut. Koneen lentolinjan suuntaisella tuulella oli vaikutusta myös koneen maanopeuteen ja tätä kautta levityskaistan lannoitejakautumaan, mutta selvästi tämäkin tuli ilmi vasta, kun koneen maanopeuden vaihtelu vasta- ja myötätuuleen lennettäessä ylitti 10 m/s. (vrt. Anon 1973 a s. 47).

Koneen lentolinjan suuntaiseen tuuleen verrattuna sivutuulen vaikutus oli huomattavasti suurempi. Jo sivutuuli, jonka nopeus oli 2—3 m/s aiheutti huomattavia muutoksia sekä levityskaistan leveyteen ja lannoitejakautumaan että sen sijaintiin lentolinjaan nähden. Varsinkin jauhemaisen lannoitteen levityksessä työskentely-olosuhteiden tuli olla lähes tyynet, sillä sivutuulessa, jonka nopeus oli vain 2—3 m/s lannoitepilvi saattoi jo ajelehtia kymmeniä metrejä, vaikka lentokorkeus oli vain 15 m. Lannoitteen rakeistaminen vähensi selvästi ajautumavaaraa, sillä pieni- ja keskisuurirakeisella lannoitteella ajautuma sivutuulessa, jonka nopeus oli 2—3 m/s, oli 15 metrin lentokorkeutta käytettäessä n. 4—6 m ja keskisuurirakeisella lannoitteella ajautuma jäi alle 10 metrin vielä 30 metrinkin lentokorkeutta käytettäessä.

Käytäntöä ajatellen sivutuuli, jonka nopeus on 2—3 m/s, on jo haittatekijä pyrittäessä tarkkaan ja tasaiseen levitystyöhön. Lentolannoituksen rajoittaminen täysin tyyniin olosuhteisiin olisi työn tarkkuuden kannalta tarpeellista, mutta työskentely-aika jäisi tällöin ainakin Suomen oloissa lähes olemattomaksi. Tämän vuoksi on syytä painottaa lannoitustyömaan ennakkosuunnittelun tarpeellisuutta, sillä vain selvittämällä ennakkoon työmaalla kyseeseen tulevat lentolinjojen yleissuunnat ja niiden vaihtoehdot, voidaan työtä suorittavaa konetta tarpeen tullen ohjata alueille, joilla lennot voidaan suorittaa vallitsevan tuulen suuntaisesti. Koneen työskentelyaikaa pystytään myös pidentämään, mikäli lentäjällä on etukäteen tiedossa alueet, joilla lentokorkeus voidaan laskea 10—15 metriin, jolloin rakeisten lannoitteiden levitys on vielä täysin mahdollista sivutuulessa, jonka nopeus on 2—3 m/s.

Hyvään lannoitustasaisuuteen pääseminen edellyttää levittimien ja niiden levitystehon tuntemusta sekä niille soveltuvien rakeistettujen lannoitteiden käyttöä. Tuuliolosuhteiden huomiointi on oleellista jo työn suunnitteluvaiheessa ja tuuliolojen tarkkailu työnsuorituksen aikana on välttämätöntä ei yksistään lannoitustasaisuuden

vaan myös lentoturvallisuuden kannalta. Ratkaisevasti lannoitustasaisuuteen ja tarkkuuteen kuitenkin vaikuttaa työssä noudatettava lentotekniikka.

Lentosuorituksessa vakioilmanopeus ja koneen vakaa lentoasento ovat edellytyksiä hyvään työsuoritukseen. Lannoitettavalla alueella kuitenkin vain 3—4 kertainen lannoitepeitto takaa erittäin hyvän lannoitustasaisuuden (lannoitemäärän hajontaa kuvaava variaatiokerroin < 10 %), kuten myös Gustavsson (1971 c) toteaa.

Nyt testatuilla potkuri- ja ilmavirralla toimivilla levittimillä tämä edellyttää, että yhdensuuntaiset lentolinjat on pystyttävä lentämään 6—8 metrin välein, kun tavoitteena on 300—600 kg:n hehtaariannostus. Keskipakolevittimellä voidaan levitettävästä lannoitteesta riippuen käyttää hieman harvempaa lentolinjaverkkoa kuin potkuri- ja ilmavirtalevittimillä, koska sen levitysteho on suurempi. Lisäämällä levitystyössä käytettävää lentokorkeutta lentolinjaverkkoa on mahdollista hieman harventaa. Työn tarkkuus kärsii tästä myös melko nopeasti, sillä lentokorkeuden kasvaessa koneen asemaa lannoitettavan kuvion suhteen on vaikeampi määrittää. Osittain tämä voidaan ratkaista kehittämällä suuritehoisia levittimiä, joilla lannoite pystytään levittämään leveälle kaistalle ja joilla muutaman metrin muutokset lentolinjojen välimatkoissa eivät vaikuta paljoakaan levitystasaisuuteen. Käytännössä tätäkin ratkaisua rajoittaa se, että ojitetuilla turvemailla levityskaistan leveys ei saa ylittää 35—40 metriä, koska lannoitettava joutuu tällöin myös ojiin. Toisaalta on myös muistettava, että lentokorkeutta ei voida rajattomasti lisätä, koska lannoitteen ajautumavaara kasvaa. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että lentokorkeus on rajoitettava tuuliolosuhteista, maastosta ja puustosta riippuen 10 metristä 45—50 metriin.

Pyrittäessä tarkkaan ja tasaiseen työjälkeen, myös lannoitettavien alueiden merkitsemiseen on kiinnitettävä huomiota. Tiheän yhdensuuntaisen lentolinjaverkon noudattaminen vaatii kohteiden nykyistä näkyvämpää ja tarkempaa merkitsemistä. Käsiteltävän alueen rajojen lisäksi myös lentolinjojen suunta ja etäisyys on pystyttävä määrittämään muutenkin kuin silmävaraisella arvioinnilla. Maahan tai puuston latvuskerrokseen sijoitettavien kiinteiden merkkien lisäksi tähän tarkoitukseen on käytettävissä muutamia elektronisia lennonohjausjärjestelmiä, jotka tosin ovat vielä kehitysvaiheessa. Erääksi jatkotutkimuksien tärkeimmäksi päämääräksi onkin katsottava Suomen olosuhteisiin soveltuvan taloudellisesti kannattavan merkintä- ja/tai lennonjohtomenetelmän kehittäminen.

Toistaiseksi ei voida varmasti ja yksiselitteisesti sanoa, mikä merkitys lannoitustasaisuudella on lannoituksen vaikutuksen kannalta. Voidaan kuitenkin todeta, että lannoitustasaisuutta lentolannoituksessa pystytään nykyisinkin käytössä olevilla levittimillä tarvittaessa vielä huomattavasti parantamaan.

9. TIIVISTELMÄ

Tämän tutkimuksen päämääränä on ollut selvittää Suomessa kiinteäsiipisissä lannoituslentokoneissa yleisimmin käytettävien levityslaitteiden levityskaistan lannoitejakautumaa ja näiden levittimien soveltuvuutta jauhemaisten sekä raekooltaan vaihtelevien rakeistettujen lannoitteiden levitykseen. Tutkimuksen tavoitteena on ollut myös selvittää tuuliolosuhteiden sekä käytetyn lentotekniikan ja lannoitteen vaikutusta levittimien levityskaistan lannoitejakautumaan. Lisäksi on pyritty selvittämään millaiseen lannoitustasaisuuteen nykyään käytettävillä levitinlaitteilla ja lannoitteilla optimiolosuhteissa on mahdollista päästä ja kuinka paljon nykyisiä levitinlaitteita ja työmenetelmiä sekä lannoitteita kehittämällä lannoitustasaisuutta voidaan parantaa.

Avoimessa maastossa koeolosuhteissa suoritetuissa levityskokeissa selvitettiin metsänlannoituksessa käytettyjen lentokonelevittimien levityskaistan leveyttä ja lannoitejakautumaa. Testattavina olivat aura-, kanava-, siipi- ja keskipakolevitin, jotka edustivat Suomessa yleisimmin käytettyjä kiinteäsiipisiin lentokoneisiin suunniteltuja levittimiä. Aura-, kanava- ja siipilevitin olivat potkuri- ja ilmavirralla toimivia levittimiä, keskipakolevittimestä lannoite levisi heittopyörän voimalla.

Työkoneina levityskokeissa käytettiin erityisesti maa- ja metsätalouskäyttöön suunniteltuja lannoituslentokoneita. Levityskokeissa jauhemaisena lannoitteena käytettiin suometsien jauhemaista PK-lannosta, pienirakeisia lannoitteita edusti urea, keskisuurirakeisia lannoitteita oulunsalpietari ja suurirakeisia metsäsalpietari. Lannoitteiden levitys suoritettiin käyttäen 15, 30 ja 60 metrin lentokorkeutta.

Yleispiirteenä levityskokeissa kaikilla testatuilla levittimillä oli levityskaistan leveneminen ja sen poikkisuuntaisen lannoitejakautuman tasoittuminen, kun lentokorkeutta nostettiin. Levityskaistan pituussuunnassa lannoitemäärän hajonta sen sijaan riippui huomattavasti enemmän levitettävästä lannoitteesta ja sen hiukkas- ja raekoosta sekä myös levittimen toimintaperiaatteesta ja rakenteesta. Paras levityskaistan lannoitejakautuma saavutettiin kaikilla levittimillä pieni- tai keskisuurirakeisen lannoitteen levityksessä. Potkuri- ja ilmavirralla toimivista levittimistä siipilevitin oli tässä suhteessa paras ja toiminnaltaan lähes keskipakolevittimen veroinen.

Jauhemaisen lannoitteen leviämiskaista oli kaikilla testatuilla levittimillä lähes yhtä leveä. Rakeistettuihin lannoitteisiin verrattuna jauhemainen lannoite levisi varsin hyvin, sillä potkuri- ja ilmavirralla toimivilla levittimillä se levisi lähes yhtä laajalle kaistalle kuin suurirakeinen lannoite, keskipakolevittimellä sen leviämiskaista sen sijaan jäi kapeammaksi kuin keskisuurirakeisella lannoitteella.

Rakeisten lannoitteiden levityksessä lannoitteen raekoon suureneminen vaikutti selvimmin auralevittimen levityskaistan leveyteen. Kanava- ja siipilevittimellä sen sijaan pieni- ja keskisuurirakeinen lannoite levisivät yhtä leveälle kaistalle. Keskipakolevittimellä siirtyminen pienirakeisesta keskisuurirakeiseen lannoitteeseen lisäsi levityskaistan leveyttä 50 %:lla, vastaavaa kehitystä ei kuitenkaan enää ilmennyt siirryttäessä keskisuurirakeisesta suurirakeiseen lannoitteeseen.

Käytetyistä lannoitteista jauhemainen osoittautui levitysominaisuuksiltaan rakeistettuja heikommaksi. Erityisesti sen tuuliherkkyys vaikeutti työskentelyä ja pelkästään lentokoneen jättövirtaukset aiheuttivat jo selvästi havaittavan ajautuman. Seoslannoitteiden kohdalla rakeistamista onkin pidettävä välttämättömänä, sillä jauhemaisen mekaanisen lannoiteseoksen ravinnekomponenttien jakautuma muuttuu alkuperäisestä levityksen yhteydessä, mikäli lannoiteseoksen komponenttien hiukkaskoko ja tilavuuspaino eroavat toisistaan.

Lannoitteen rakeistaminen ei vielä sinänsä parantanut lannoitteen levitysominaisuuksia, sillä raekoolla ja lannoitteen sisäisellä raejakautumalla oli huomattava vaikutus. Suurirakeinen lannoite aiheutti varsinkin siipi- ja keskipakolevittimellä toimintahäiriöitä, ja kaikilla testatuilla levitintyypeillä lannoitejakautuman hajonta oli sitä käytettäessä selvästi suurempi kuin muilla koelannoitteilla. Parhaiten kaikille levittimille soveltui pieni- tai keskisuurirakeinen lannoite. Levityskaistan lannoitejakautuma oli näiden lannoitteiden levityksessä varsin tasainen ja erityisesti keskisuurirakeisella lannoitteella tuuliajautuma jäi pieneksi vielä sivutuulessa, jonka nopeus oli 2—3 m/sek. Sisäiseltä raejakautumaltaan keskisuurirakeinen lannoite soveltui myös hyvin sekä potkuri- ja ilmavirralla että keskipakoperiaatteella toimiville levittimille, joskin sen suurin, 4—6 mm:n raefraktio oli levitysteknisten ominaisuuksien kannalta tarpeeton ja osin jopa haitallinen.

Paitsi käytettävästä levittimestä ja lannoitteesta sekä tuuliolosuhteiden aiheuttamista rajoituksista työjälki lentolannoituksessa riippuu paljolti myös käytettävästä lentotekniikasta. Todella hyvään lannoitustasaisuuteen pääseminen edellyttää vähintään 3—4 kertaista lannoitepeittoa, joka on kyllä mahdollista saavuttaa kaikilla tässä tutkimuksessa testatuilla levittimillä, mutta vaatii erittäin suurta lentotarkkuutta. Levitystyössä on pystyttävä noudattamaan tiheää yhdensuuntaista lentolinjaverkkoa vakioilmanopeudella ilman että koneen lentokorkeudessa tai -asennossa tapahtuu muutoksia. Lentosuorituksena tämä on mahdollista, mutta jotta käytännössäkin tähän päästäisiin, työn ennakkosuunnitteluun ja valvontaan olisi kiinnitettävä huomattavasti enemmän huomiota kuin tähän saakka ja erityisesti lannoitettavan alueen reunojen sekä lentolinjojen merkitseminen tulisi suorittaa siten, että maaston peitteisyys ei pääsisi vaikeuttamaan koneen sijainnin ja lentosuunnan määrittämistä.

KIRJALLISUUSLUETTELO

Akesson, N. B., Brazelton, R. W. & Yates, W. E. 1968. Dry Materials Distribution by Aircraft. Transactions of the ASAE. Vol. 11, No 5, s. 635—641.

Akesson, N. B., Brazelton, R. W., Roy, S. & Yates, W. E. 1971. Distribution of Dry Materials. Proceedings of 4th Agricultural Aviation Congress 1969, IAAC, the Haque s. 166—174.

Andreason, O. 1967. Undersökning om spridnings jämheten vid gödsling av skog från flygplan. Växt-närings Nytt. 1967: 3, s. 27—30.

ANON 1966. Description and Instructions for Use of the Scattering and Dusting Device. Moravan. Otrokovice. 32 s.

—»— 1967 a. Flight Manual for the Z-37 Bumble-Bee Aircraft. Czechoslovak Aeronautical Works. 83 s.

—»— 1967 b. Evaluation of Two Fertilizer Distributor Systems on the Call Air A-9 Agricultural Aircraft. Agricultural Aviation, Vol. 9, No 1. 1967, s. 10—14.

—»— 1968. Lentäjä ja sää. SIL. 134 s.

—»— 1970. Hur provar man konstgödselspridare? Vad säger resultaten? Statens Maskinprovningar. Meddelande 2 002. Uppsala. 9 s.

—»— 1971. Ilma-aluksen siivenkärkipyörre ja sen aiheuttama vaara muulle lentoliikenteelle. TM 20/1971. Ilmailuosaston tiedotuksia. Liikenneministeriö. 5 s.

—»— 1973 a. Handbook for Agricultural Pilots IAAC. The Haque. 143 s.

—»— 1973 b. Flight Manual for Thrush Commander. Aero Commander. Rockwell. 50 s.

—»— 1974. Metsätilastollinen Vuosikirja. 1973. Suomen Virallinen Tilasto XVII A: 6, Folia Forestalia 225. Helsinki.

Armson, K. A. 1972. Fertilizer Distribution and Sampling Techniques in the Aerial Fertilization of Forests. Univ. of Toronto. Fac. of Forest Tech., Rep. 11. 26 s.

Ballard, R. & Will, G. M. 1971. Distribution of Aerially Applied Fertilizer in New Zealand Forests. N.Z. Jour. For. Sci. 1971: 1, s. 50—59.

Baltin, F. & Brandt, R. 1966. An Improvement of the Method for Measurement the Distribution of Fertilizers Applied from the Air. Report of the IIIrd International Agricultural Aviation Congress. IAAC, the Haque, s. 119—128.

Conway, M. J. 1962. Aerial Application of Phosphate Fertilizers to Radiata Pine Forests in New Zealand. Emp. For. Rev. 41, s. 234—245.

Davies, E. J. M. 1969. Further Experiences with Aerial Fertilization in the West Conservancy. Scott. For. 23, s. 87—101.

Ekberg, A. & Friberg, R. 1974. Spridningskontroll vid praktisk skogsgödling. Institutet för Skogsförbättring. Information nr. 3. 1973/1974, 4 s.

Erken, T. & Fahlroth, S. 1967. Gödslingsförsök på fastmark. Skogen 1967: 24, s. 626—628.

Gustavsson, R. 1971 a. Spridning med helikopterburen spridare. Skogshögskolan Institut för Skogsteknik. Moniste. 17 s.

—»— 1971 b. Metoder vid skogsgödsling. Traktor Journalen, nr. 8. (1971). s. 458—466.

Gustavsson, R. 1971 c. Spridningsmetoder vid skogsgödsling. Skogshögskolan Inst. för Skogsteknik. Moniste. 10 s.

—»— 1972. Faktorer som påverkar spridningsresultatet vid skogsgödsling. Lisensiaattityö Ruotsin metsäkorkeakoulussa. 55 s.

Gäbler, H. 1965. Eimsatzmöglichkeiten des Flugzeugs in Forstwirtschaft und Jagd. Wissenschaftlich Zeitschrift der Technischen Universität. Dresden. 14 (1965) 2, s. 429—432.

Hagner, S., Johansson, S., Saraste, J. & Åhgren, A. 1966. Virkesframställning genom skogsgödsling. Svenska Skogsvårdsförbund. Tidskr. 1966: 2, s. 101—171.

Heino, E. & Tynkkynen, M. 1972. Metsänhoitomenetelmät metsäteollisuuden ja metsähallituksen metsissä vuonna 1971. Metsätehon katsaus 1972: 20, 3 s.

Henry, J. E. 1964. Laboratory and Flight Studies of Distributors for Spreading Dry Materials with an Airplane. Report of the IVth International Agricultural Aviation Conference. U.S. Dep. of Agr. Washington 1964. s. 147—153.

—»— 1966. Investigations of a Centrifugal Device for Spreading Granular Materials from Aircraft. Transactions of the ASAE, 9 (1966) 20 (Dec). s. 588—589.

Heyman, W. & Schultz, U. 1973. Quantifizierung wesentlicher Einflussfactoren auf Leistung und Arbeitsqualität bei der aviotechnischen Mineraldüngung. Techn. Ök. Inf. Ziv. Luftf. 1973: 4, s. 232—239.

Hicks, M. 1971. Training Developments in North America. Proc. of 4th Int. Agric. Aviat. Congr. 1969. IAAC. The Haque. s. 405—407.

Huikari, O. & Paavilainen, E. 1972. Metsänlannoitus, Helsinki, 68 s.

Huuhtanen, E. & Virtanen, J. 1974. Taitavasti Taivaalta. Lentolannoitusopas. Joensuu 1974. 89 s.

Lee, K. C. & Stephenson, J. 1971. The Distribution of Solid Materials, Proc. of 4th Agric. Aviat. Congress 1969. IAAC, the Haque 1971, s. 203—211.

Miller, J. G. 1956. The Distribution of Fertilizer from a Beaver Aircraft. N. Z. J. Sci, Tech. 38 A s. 383—396.

Nelson, G. S. 1963. Aerial Application of Granular Fertilizer and Rice and Lespedeza seed. Agricultural Experiment Station, Division of Agriculture. University of Arkansas, Fayetteville Bulletin 671 (June). 19 s.

Nelson, G. S. & Lincoln, C. 1968. Performance of Airplane Sprayers for Insecticide Applications. Agricultural Experiment Station, Division of Agriculture, University of Arkansas, Fayetteville, Bulletin. 730 (Apr.) 27 s.

Noer, H. 1968. Hvor jevt blir gjødsla spredd ved flygjødsling? Norsk Skogbruk. 1968: 20, s. 457—458.

Paavilainen. E. 1972. Lannoitteiden lentolevityksen tasaisuudesta. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 3, 8 s.

Robers, A. J. & Rathburn, C. B. 1964. Experiences in Applying Vermiculite Granules with Aircraft. Report of the IVth Agricultural Aviation Research Conference. U.A. Dep of Agr. Washington. 1964, s. 88—98.

Scott, R. S. & Grigg, J. L. 1970. Studies into the Spatial Distribution of Fertilizer and Seed Applied from Light Aircraft. New Zealand Journal of Agricultural Research, 13 (1970) 4, s. 12—32.

Siren, G. 1954. Lentokonekylvön tähenastiset tulokset Lapissa. Metsätaloudellinen Aikakauslehti. 1954: 10, s. 417—418.

Strand, R. 1972. A Brief Review of the Biological and Economic Basis for Forest Fertilization and Some Environmental Problems Associated with the Practise. Forest Fert. Workshop. Washington State Dep. Nat. Res. Rep. 18. Olympia, Wash., s. 48—55.

Switzer, M. E. 1972. The Application of Fertilizer and an Evaluation ot the Importance of Particle Size in Aerial fertilization of Forest Land in the Pacific Northwest. Proc. Forest Fert. Workshop, Washington State Dep. Nat. Res. Rep. 18, Olympia Wash., s. 12—24.

Walker, D. A. 1970. Aspects of Agricultural Aviation in Czechoslovakia. Agricultural Aviation. Vol. 12. No. 2. 1970. s. 52—59.

Weed, W. B. & Wacker, E. 1968. Determination of the Distribution Pattern of Dry Fertilizer Applicators. Council of Fertilizer Application 1968. Proc. of the 44th annual meeting.

Williamson, R. E., Smith, M. R. & Threadgill, E. D. 1971. Future Developments in Dispersal Equipment Design. Proceedings of 4th Agricultural Aviation Congress 1969. IAAC, the Haque, s. 175—182.

Viro, P. J. 1972. Die Walddüngung auf Finnischen Mineralböden. Folia Forestalia 138. Helsinki 1972. 19 s.

Virtanen, J. 1975. Lannoitustasaisuus metsänlannoituksessa. Metsäntutkimuslaitoksen Julkaisuja. 86.1. 72 s.

Yläne n, M. 1961. Metsämaiden lannoitusta lentokoneesta. Leipä Leveämmäksi. 9 (1961) 5. s. 9—12.

SUMMARY

This study aimed finding the fertilization distribution which can be achieved by the commonest spreading devices attached to fixed-wing aircraft in Finnish conditions and at investigating the suitability of these spreaders in conjuction with finely ground fertilizers and other fertilizers with varying grain sizes. Another goal was to investigate the effect of wind, the flying technique and fertilizers on the fertilizer distribution by different spreaders. Moreover, an attempt was made of find the fertilization evenness which can be gained by using the presently available spreaders and fertilizers in optimum conditions and the extent to which fertilization evenness can be improved by developing the present spreaders, working methods and fertilizers.

The spreading methods were set up on open ground to find the width of the spreading strip and the fertilizer distribution by aircraft spreaders used for forest fertilization. The test included plough, venturi, aerofoil and centrifugal spreaders, which represented the most frequently used spreaders designed for fixed winged aircraft in Finland. The plough, venturi, and aerofoil spreaders operated by propellers or air, while the centrifugal one operated by a scattering disk.

The aircraft specially designed for agriculture and forestry were used in the spreading experiments. Finely ground PK fertilizer for peatland forests represented the finely ground fertilizer, urea the small size grains, Oulu saltpeter the medium size grains and forest saltpeter the large size grains. The flying heights of 15, 30 and 60 m were used during the spreadings.

A general feature when increasing the altitude of the flight was that all the tested spreaders broadened their spreading strips, and the crosswise distribution of fertilizers became more even. Longitudinally, however, the distribution of fertilizers on the spreading strip was considerably more dependent on the fertilizer type and its particle and grain sizes as well as on the function and structure of the spreader. All the spreaders distributed fertilizers most evenly when small or medium size grains were used. In these cases the aerofoil spreader proved to be the best of the propeller or air operating spreaders. It functioned nearly as effectively as the centrifugal spreader.

All the tested spreaders were able to spreated fertilizers on almost equally wide strips when the finely ground fertilizer was used. The finely ground fertilizer had fairly good spreading properties when compared to the granular fertilizers, for it spread almost as widely as the fertilizer with large size grains when using with propeller and air stream operating spreaders. However, the centrifugal spreader threw the medium grain fertilizer on a broader strip than the finely ground one.

When using granular fertilizers, the enlarged grain size had an effect on the width of the spreading strip especially when the plough spreader was used. The venturi and aerofoil spreaders, however, spread small or medium grain fertilizers on an equally wide strip. The centrifugal spreader was able to widen the spreading area with 50 % when the small size grains were replaced by medium size grains. A corresponding improvement did not occur when the fertilizer with medium size grains were replaced by large size grains.

The finely ground fertilizer proved to have poorer spreading properties than the granular ones. Its susceptibility to wind, in particular, hampered the work. Even the currents from the aircraft were enough to cause clear drifting. Mixed fertilizers should contain granular grains, since the distribution of nutrient components in a finely ground mechanic fertilizer mix will change during the spreading if the particle size and volume weight of the components differ from each other.

The granulation of fertilizers did not alone improve the spreading properties, for the grain sizes and the inner grain distribution of fertilizers were important factors. Large size grains caused disturbances especially in the function of aerofoil and centrifugal spreaders. In all instances the statistical dispersion of large grain fertilizer distribution was clearer larger than that of other tested fertilizers. Small or medium grain fertilizers were best suited for all the spreaders. They spread on the strip fairly evenly and especially the medium size grains were able to resist drifting in side wind blowing even 2—3 m/sec. The fertilizers consisting of medium and large size grains suited well for propeller, air and centrifugally operating spreaders, although their largest grain fractions, 4—6 mm, were useless and sometimes even harmful when considering spreading techniques.

In addition to the spreader and fertilizer types and the limitations caused by winds, the flying technique also affected the quality of the work. To reach a good fertilization evenness at least three or fourfold covers of fertilizers should be used. All the tested spreaders were capable of producing such evenness although it required very exacting flying capability. Spreading should be carried out by flying along close parallel flight paths at a constant air speed without changing the altitude or position of the aircraft. It is possible, but in order to reach this goal in practical work, more attention than before should be paid to the planning and supervision of the work. Especially the boarders of the fertilized area and the flight paths should be marked so that vegetation would not hamper the determinations of the location and flight direction of the aircraft.

LANNOITUSTEKNISIÄ MÄÄRITELMIÄ

Ilmavirtalevitin: Lentokonelevitin, joka saa tehonsa koneen liikkeen ja potkurin aiheuttamasta ilmavirrasta.

Puhallinlevitin: Levitintyyppi, joka levittää lannoitteen erillisen moottorin synnyttämän ilmavirran voimalla.

Keskipakolevitin: Levitin, jossa erillisen moottorin pyörittämä keskipakopyörä sinkoaa lannoitehiukkaset levittimestä.

Yleislevitin: Levitintyyppi, joka soveltuu sekä kiinteiden että nestemäisten aineiden levitykseen.

Levittimen käyttövarma levitysteho: Levitysteho (kg/s), jota käytettäessä lannoite poistuu levittimestä jatkuvana, tasaisena virtana ja jakautuu tasaisesti sekä levityskaistan pituus- että leveyssuunnassa.

Tehollinen levityskaista (= tehollinen työskentelyleveys): Levityskaistan keskiosa ajolinjan molemmin puolin, joka sisältää 80 % koko levityskaistan lannoitemäärästä.

Levityskaistan pituussuuntainen variaatio: Samalla etäisyydellä ajolinjasta olevista mitta-astioista mitattujen lannoitemäärien hajontaa kuvaava keskimääräinen variaatiokerroin.

Optimaalinen lannoitustasaisuus: Lannoitustasaisuus, joka testattavalla levitinlaitteella tiettyä lannoitetta käytettäessä on teoriassa optimiolosuhteissa mahdollista saavuttaa.

Optimiolosuhteet (= koeolosuhteet): Lannoituskokeissa koealueella maastoa ja sääolosuhteita sekä levitettävän lannoitteen ominaisuuksia koskevat rajatut koeolosuhteet.

Syöttöluukun aukeamisaste: Lannoitesäiliön tyhjennysluukun aukeamiskulma prosenteissa ilmaistuna.

Liite 2

LENTOTEKNISIÄ MÄÄRITELMIÄ

Lannoituslentokone: Maa- ja metsätaloustoimintaan rakennettu lento-ominaisuuksiltaan omaan rajoitettuun luokkaan luettava ilma-alus.

Kiinteäsiipinen lentokone: Ilma-alus, jolle kiinteiden siipien ja rungon profiili antavat liitokyvyn.

Koneen lentoasu: Nousua, laskua tai muuta lentotilaa varten koneen profiilia muuttavilla laitteilla aikaansaatu koneen tasapainoon ja lentonopeuteen vaikuttava ulkoasu.

Lentokoneen ilmanopeus: Koneen nopeus konetta ympäröivässä ilmamassassa.

Lentokoneen maanopeus: Koneen nopeus lentolinjalla kahden mittauspisteen välillä.

Jättövirtaus: Koneen rungosta ja siivistä irtoava pyörteinen ilmavirtaus.

Mittarikaarto: Johdetussa lentotoiminnassa suunnanmuutoksissa käytettävä kaarto 3°/s.

Vetopotkuri: Lentokoneessa yleensä moottorin eteen sijoitettu positiivisilla lapakulmilla konetta vetävä potkurityyppi, joka pyörimissuuntansa mukaan on joko oikea- tai vasenkätinen.

Lannoitesäiliön pikatyhjennys: Hätätilanteessa suoritettava toimenpide, jolla lannoitekuorma poistetaan koneesta 5—10 sekunnissa.

THE OCCURRENCE OF HETEROBASIDION ANNOSUM (FR.) BREF. IN WOODY PLANTS IN FINLAND

LALLI LAINE

JUURIKÄÄVÄN (HETEROBASIDION ANNOSUM (FR.) BREF.) ESIINTYMINEN PUUVARTISILLA KASVEILLA SUOMESSA

Suomenkielinen selostus

HELSINKI 1976

ISBN 951-40-0244-X
ISSN 0026-1610

Helsinki 1976. Valtion painatuskeskus

PREFACE

This dissertation was carried out in the Finnish Forest Research Institute in Helsinki.

I wish to express my deep gratitude to Professor Tauno Kallio, Director of the Department of Forest Protection, the Finnish Forest Research Institute, for his advice, interest and constructive criticism during the preparing of this work.

I am greatly indebted to Professor Jaakko Jalas, Professor in Botany, University of Helsinki, and Professor Peitsa Mikola, Professor in Forest Biology, University of Helsinki, for their advice and constructive criticism in preparing the manuscript.

I wish to thank Mrs. Hilkka Kontiopää and Mrs. Barbara Rikberg for the translation of the manuscript into English.

I wish to express my warmest thanks to all those persons who have helped me to carry out this work.

The study has been aided by a grant from Suomen Kulttuurirahasto.

Helsinki, October 1976.

Lalli Laine

CONTENTS

Page

Preface 3

1. Introduction 5

2. Material and methods 7
   21. Herbarium specimens 7
   22. Field studies 7
   23. Laboratory studies 9

3. Occurrence of *Heterobasidion annosum* in Finland, by host 11
   31. *Pinaceae* 11
      311. *Abies balsamea* Miller 11
      312. *Abies lasiocarpa* (Hooker) Nutt. 11
      313. *Abies sibirica* Ledeb. 11
      314. *Abies alba* Miller 12
      315. *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco 12
      316. *Picea abies* (L.) Karsten 13
      317. *Picea glauca* (Moench) Voss 19
      318. *Picea engelmannii* Parry ex Engelm. 19
      319. *Larix decidua* Miller 19
      320. *Larix sibirica* Ledeb. 19
      321. *Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzeneva 19
      322. *Pinus contorta* Douglas ex Loudon (var. *latifolia* Engelm.) 20
      323. *Pinus sylvestris* L. 20
         3231. Young pine trees 21
         3232. Mature pine trees 24
      324. *Pinus mugo* Turra 28
      325. *Pinus cembra* L. 28
   33. *Cupressaceae* 30
      331. *Junigerus communis* L. 30
   34. *Salicaceae* 32
      341. *Populus tremula* L. 32
      342. *Populus tremula* x *tremuloides* Michx 32
   35. *Betulaceae* 33
      351. *Betula pendula* Roth, *B. pubescens* Ehrh. 33
      352. *Alnus incana* (L.) Moench 35
   36. *Rosaceae* 37
      361. *Sorbus aucuparia* L. 37
   37. *Ericaceae* 37
      371. *Calluna vulgaris* (L.) Hull 37
      372. *Vaccinium vitis-idaea* L. 38
      373. *Vaccinium myrtillus* L. 39
   38. *Heterobasidion annosum in wooden structures* 40
   39. Total distribution in Finland 42

4. Discussion 43

5. Summary 48

References 49

1. INTRODUCTION

According to K a r s t e n (1880, 1882, 1903) *Heterobasidion annosum (Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst.; *Fomes annosus* (Fr.) Cooke; the root rot fungus), was very rare in Finland.

T h e s l e f f (1894, 1919) published observations made in South Finland on more than a hundred basidiomycetous species growing on Norway spruce *(Picea abies* (L.) Karsten), and roughly a similar number growing on Scots pine *(Pinus sylvestris* L.) but he never, in Finland, encountered *Heterobasidion annosum*, »a species known as the most dangerous rot fungus of trees in Central Europe».

Later literature also provides only a few references to sporophore findings in Finland, and they mostly concern individual or a few sites (e.g. S a a r n i j o k i 1939, K u j a l a 1948, V a a r t a j a 1950, K a n g a s 1952, J u u t i n e n 1962).

The herbaria exhibit few specimens of the species from Finland.

According to H e i k i n h e i m o (1920), *Heterobasidion annosum* is »common and abundant both on spruce and pine up to the heaths of Paatsjoki» in Finland. The same view of the common distribution and abundance of the species was also reported by certain other authors dealing with rot damage in forest trees (L a k a r i 1920, T i k k a 1934, 1935). In these studies the fungal species causing the rot were identified on the basis of the outward appearance of the rot, and no observations concerning sporophores etc. were made.

Subsequently more detailed studies (K ä ä r i k & R e n n e r f e l t 1957) have shown that *Heterobasidion annosum* cannot be reliably judged on the basis of the outward appearance of the decay, since other fungal species also can produce decay of identical appearance. To identify the fungi, observations must be made of their sporophores etc., and if necessary, growing mycelia must be isolated from the decayed wood. The mycelia of *Heterobasidion annosum* are then relatively easy to identify from the conidiophores and conidia. In this way J u u t i n e n (1958), demonstrated the absence of *Heterobasidion annosum* in a relatively extensive material of spruce decay, collected from North Finland.

Forestry practice often requires determination of the volume of decayed timber, but specification of the organisms causing the decay is not considered important. However, if fungal diseases are to be prevented, it is of primary importance to know the pathogens, their ecology in the conditions in which they are to be controlled,

and the distribution areas. This is expecially true of *Heterobasidion annosum*, for its control presents a problem that is extremely difficult to solve (e.g. P a l m b e r g 1959).

In 1963 the present author was commissioned by the Finnish Forest Research Institute to study a disease in Scots pine stands, observed by professional foresters in the region of Southeast Finland. Its causes were unknown, and its spread was beginning to worry the foresters.

The pathogen proved to be *Heterobasidion annosum*, but the manifestation of the disease in pine was very different from that produced in spruce by the same fungal species.

Heterobasidion annosum was common in pine especially in the surroundings of Lake Saimaa in Southeastern Finland (L a i n e 1964, 1968 c). The study was later extended to cover the occurrence of the fungus in the pine stands elsewhere in the country. Moreover, it became evident that the same fungus causes the disease in other tree species, and even bushes and shrubs, growing in the affected pine stands. For this reason attention was also devoted to its ravages in other woody plants. Later on, plantations of foreign tree species in Finland were studied for this fungus. Spruce stands, on the other hand, were not so thoroughly investigated in the present study, even though *Heterobasidion annosum* is the most important spruce-decaying fungus in a large part of Finland. This was partly because the disease in pine stands assumes very different forms from those seen in spruce stands, and also because other research workers at that time were already engaged in extensive studies of spruce decay (e.g. K a l l i o 1965, 1967, 1970, 1971a, 1971b; K a l l i o & N o r o k o r p i 1972; K a l l i o & T a m m i n e n 1974).

2. MATERIAL AND METHODS

21. Herbarium specimens

Herbarium specimens of *Heterobasidion annosum* in the following herbaria from Finland (abbreviations according to Holmgren & Keuken 1974) have been studied:

Botanical Museum, University of Helsinki	H
The Finnish Forest Research Institute, Helsinki	HFR
Department of Plant Pathology, University of Helsinki	HPP
Department of Silviculture, University of Helsinki	HSI
The Kuopio Museum, Department of Natural Sciences	KUO
Department of Botany, University of Oulu	OULU
Botanical Institute, University of Turku	TUR
Technical Research Centre of Finland (VTT), Wood Preservation Laboratory, Espoo	(VTT)

When the present studies were launched in 1963, the herbaria contained a total of some 100 specimens of *Heterobasidion annosum*, collected from Finland. The majority were in herbaria H and HFR. Most derived from South Finland, and from Norway spruce.

Herbarium specimens supply verifiable information on the occurrence of *Heterobasidion annosum*. They are more serviceable on this point than data in the literature which are almost impossible to verify.

22. Field studies

The material for the present work was obtained mainly by field studies, especially in South and Central Finland but also in North Finland.

Field studies were started in the region of Southeast Finland following reports of the occurrence of root rot in pine.

An inquiry was first carried out among the professional foresters working in the region. The inquiry covered the forestry board districts of South Karelia, South Savo and East Savo (southern part). As regards the first two districts, the disease proved

to be generally known and widespread, a danger to the pine, whereas in the East Savo district it seemed to be relatively unknown and apparently also less common. The local professional foresters and forest owners gave the author valuable help in locating the disease. With a few exceptions (L a i n e 1968b, 1971) the affected spots they reported have proved, when verified in the field, to be such in which the main pathogenic agent was *Heterobasidion annosum* (L a i n e 1964).

The field studies were concentrated on pine stands in which the occurrence of *Heterobasidion annosum* was studied not only on the pine but also on the other woody plants. Stands of other trees were also studied, although not so extensively. The field studies were mostly carried out in 1963—1968. They were later continued especially with a view to exotic tree species. Attention has recently been devoted to disease in young planted stands of pine in districts where no appreciable occurrence of the disease was observed earlier.

In the field, the researcher was on the lookout for diseased trees and groups of trees in different stands, especially pine stands. Observations were made mainly in the neighbourhood of roads, but also at some distance from the roads. Particular importance was attached to looking for the sporophores in stunted and dead trees and their stumps. At the same time a lookout was kept for the fungus in other hosts.

Even though sporophores of *Heterobasidion annosum* may be found almost throughout the year, apart from the coldest and most snowy periods, it is still often a difficult and time-consuming task to discover them. In Finnish conditions, the sporophores are always hidden in the mosses growing at the butt of diseased trees, on the roots of fallen trees and their stumps, under tree trunks lying on the ground etc. They can hardly ever, in Finland, be found without digging up the various places where they might be concealed.

In cases where no sporophores were actually found in the field but the presence of *Heterobasidion annosum* nevertheless seemed possible, fungal cultures were made on agar medium in glass tubes in order to verify the fungus in laboratory. Samples were first taken by means of an increment borer (cf. J u u t i n e n 1958), but later with a knife, chisel and saw, from a decayed stump, a decayed root or the like. A sample could also be taken in the laboratory from fresh wood-material collected in the field. Mycelial growth of *Heterobasidion annosum* was occasionally verified from the conidiophores and conidia that developed on the sample surface after it had been kept for a few days wrapped in moistened paper (e.g. R i s h b e t h 1950, K a l l i o 1965).

Only very limited numbers of stunted and living trees could be felled in the field. Studies necessitating the felling of the sample trees were carried out in certain research forests of the Forest Research Institute, especially in Ruotsinkylä, Tuusula.

Material obtained during the field studies has been used not only to verify the occurrence of *Heterobasidion annosum* but for other laboratory studies as well (N u o r t e v a & L a i n e 1968, 1972, L a i n e & N u o r t e v a 1970). Field studies covered also other fungal species and insects on the diseased sites, especially in cases

where they were believed to affect the occurrence and distribution of *Heterobasidion annosum*.

It is often difficult to track down the diseased sites in nature, especially in areas where the fungus is uncommon, and therefore not well known. An added difficulty is that diseased and dead trees (especially in pine stands) are usually removed at short intervals in order to avoid the loss of their timber yield. The affected areas may be treated with extensive clear-cuttings in an effort to stop the disease from spreading. Changes in the ground flora help in distinguishing the diseased tree groups from the surrounding healthy forest.

Areas infected by *Heterobasidion annosum* have recently been investigated e.g. in the United States by means of aerial photography (e.g. H a d f i e l d 1970, H a n s o n & L a u t z 1971). The availability in Finland of large-scale aerial photographs suited for the purpose (infrared, colour, false-colour etc. photographs) is so far very restricted. According to the present field studies it seems that pine stands infected by *Heterobasidion annosum* can be localized from aerial photographs, provided suitable aerial photography material becomes increasingly available.

23. Laboratory studies

Laboratory studies were carried out mainly at the Finnish Forest Research Institute in Helsinki.

Pure cultures were isolated from *Heterobasidion annosum* material (sporophores, decayed wood samples, basidiospores, conidia) collected in field studies from different host plants and different sites. The pure cultures were used e.g. to verify the occurrence of the fungus in cases where no sporophores were found in the field.

Glass tubes and petri dishes (usually 9 cm in diameter) were used for fungal cultures. In most cases the culture medium was the Hagem agar (H i n t i k k a 1964; M i k o l a 1955):

glucose	5 g
malt extract	5 g
$MgSO_4 \cdot 7\ H_2O$	0.5 g
NH_4Cl	0.5 g
$FeCl_3$ (1 %)	1 ml
agar-agar	15 g
distilled water	1 000 ml

Particularly when other fungi and other microbes had an essentially adverse effect on the pure culture of *Heterobasidion annosum*, a special culture medium developed by K u h l m a n and H e n d r i x (1962) was used. This culture medium is designed to weaken the potential growth of other microbes without appreciably retarding the growth of *Heterobasidion annosum*. Malt extract agar (e.g. H y p p e l 1968a), sterilized chips of wood, etc. were also used. The cultures were usually kept at room tempera-

ture (c. 22 °C). Cultures growing on agar medium in glass tubes were occasionally stored in the refrigerator at +2 °C or, filled with paraffin oil, in an upright position at room temperature (a method recommended by Dr A. Käärik, Stockholm), which made it possible for the intervals between re-transfers of the cultures to be considerably prolonged.

Differentiation between areas of decayed wood invaded by different fungal species and the identification of *Heterobasidion annosum* was facilitated by a method using a reagent applied by Käärik (1965) to the demonstration of mycelia and now applied to the study of decayed wood. When 1 % benzidine in alcohol solution (in 95 % alcohol) is spread on a piece of fresh, decayed wood, the mycelia of the different fungal species stain differently, e.g. the area of the *Heterobasidion annosum* mycelium darkens (turns black) within a short while. Because of the possible toxicity of benzidine, o-tholidine was tried as a substitute. The method has been described in greater detail in a separate report (Hintikka & Laine 1968).

3. OCCURRENCE OF HETEROBASIDION ANNOSUM IN FINLAND, BY HOST

31. Pinaceae

311. *Abies balsamea* Miller [1])

Uusimaa. Tuusula, the Ruotsinkylä Research Forest, sample plot No. 275, established in 1926 [reference in the following: (275/26)].

South Karelia. Anjalankoski, Sippola, forestry school (—/38).

South Häme. Urjala, Nuutajärvi (42/30).

Sizeable, shelf-like or resupinate sporophores occurred in abundance on decayed stumps, on the underside of fallen trunks, and in decayed root systems. Butt rot of the trunk is of the same type as in spruce (*Picea abies*). The disease was conspicuous in all affected areas (Fig. 1). *Abies balsamea* seems susceptible to *Heterosidion annosum* infection.

312. *Abies lasiocarpa* (Hooker) Nutt.

Uusimaa. Elimäki, Mustila (in the stump of a fallen tree). Helsinki, Tuomarinkylä, Niskala (large sporophores in the root system of trees that had fallen because of decayed roots). Tuusula, Ruotsinkylä (56/30 and 372/38).

Small pustules at the butt of dying trees, large resupinate sporophores in the roots of fallen trees. The diseased areas display trees that have dried out while standing and then fallen because the roots were decayed.

313. *Abies sibirica* Ledeb.

Uusimaa. Espoo, Laaksolahti (a fallen tree with decayed root system).

South Häme. Urjala, Nuutajärvi (50/—, sporophores on decayed stumps).

The occurrence of *Heterobasidion annosum* on *Abies sibirica* seems uncommon although this tree species is a relatively frequent ornamental tree grown in Finnish courtyards and parks.

---

[1]) The nomenclature of the vascular plants is mainly after T u t i n, H e y w o o d et al. 1964, 1968, 1972.

L. L. = Lalli Laine.

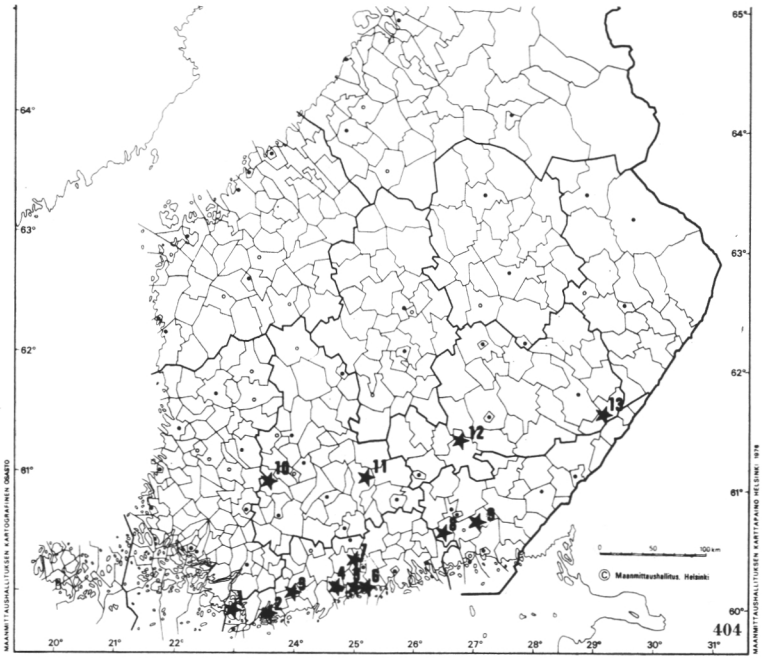


Fig. 1. The distribution of *Heterobasidion annosum* on *Pinaceae*, other species than *Picea abies* or *Pinus sylvestris* in Finland. (Data verified by sporophore finds or fungal cultures).

Kuva 1. Juurikäävän levinneisyys Suomessa muilla Pinaceae-lajeilla kuin kuusella ja männyllä (itiöemälöydöin tai sieniviljelyin tarkistetut tiedot).

Localities. Löytöpaikat: 1. Bromarv; 2. Tammisaari; 3. Karjaa; 4. Espoo; 5. Helsinki, Niskala; 6. Helsinki, Tuomarinkylä; 7. Tuusula; 8. Elimäki; 9. Anjalankoski; 10. Urjala; 11. Lammi; 12. Mäntyharju; 13. Punkaharju.

Species. Lajit: *Abies alba* (7); *A. balsamea* (7, 9, 10); *A. lasiocarpa* (5, 7, 8); *A sibirica* (4, 7); *Picea engelmannii* (1, 7); *P. glauca* (8); *Pinus cembra* (7); *P. contorta* (7, 10, 12, 13); *P. mugo* (2, 6, 13); *Larix gmelinii* (7); *L. decidua* (7); *L. sibirica* (3, 7, 11, 13); *Pseudotsuga menziesii* (7, 9).

314. *Abies alba* Miller

Uusimaa. Tuusula, Ruotsinkylä (272/33).

Large resupinate sporophores in the decayed roots of fallen trees. The plantation is of Polish origin. *Abies alba* is considered highly resistant to *Heterobasidion annosum* except on the Apennines in Italy (B i r a g h i 1962).

315. *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco

Uusimaa. Tuusula, Ruotsinkylä (Huhtari).
South Karelia. Anjalankoski, Sippola, forestry school.

Medium-sized sporophores of *Heterobasidion annosum* on decayed stumps, small pustules at the butt of standing stunted trees.

316. *Picea abies* (L.) Karsten

Ahvenanmaa. (see also Laine 1968a, Kallio & Tamminen 1974). Eckerö, Skag. Finström, Torrbolstad (sporophores exceptionally also on the roots of a living and standing tree, visible!). Hammarland, main village. Jomala, Gottby; main village; Möckelö, Önningeby. Lumparland, Skag. Maarianhamina, Ytternäs. Saltvik, Ödkarby (*v. Schulmann* 1949, H). Sund, Kastelholm.

Varsinais-Suomi. Bromarv, Solböle. Karjaa, Kaunislahti; Mustio (*Niemelä* 1971, H). Karjalohja, Karkalinniemi; Maila (*Alava*, HPP). Karkkila, Ahmoo. Kemiö, Vik. Lieto, Vanhalinna (*Kari* 1937, TUR), Lohja, 5 finds. Masku. Parainen, Ersby (*Laurila* 1936, H, HPP). Pohja, Fiskars. Pusula, Hyönölä. Suomusjärvi, Kettula. Tenhola, Ovanmalm. Vihti, Haimoo; Herrakunta; Kotkaniemi, (on a c. 15-year-old spruce); Nummela.

Uusimaa. Askola, Korttia; Monninkylä; Tiilää; Vahijärvi. Elimäki, Koria. Espoo, 8 finds (H, HFR). Helsinki, over 20 finds (H, HFR). Hyvinkää, Kaukas; Hyvinkää rural commune (*T. Kallio* 1964, HSI). Inkoo, Degerby; Marsjö, Vesta. Järvenpää, Haarajoki. Kauniainen (*Nyberg* 1944, H). Kirkkonummi, Porkkala; Palojärvi; Väransby. Lapinjärvi, the Lapinjärvi Research Forest (living sporophores in 35 year-old stumps); Ruotsinkylä. Myrskylä, Kankkila. Mäntsälä, 11 finds. Nurmijärvi, main village; Klaukkala; Rajamäki. Pernaja, Isnäs; Forsby. Pornainen, Hevonselkä; Vermijärvi (a fallen trunk with sporophores of *Phellinus chrysoloma* (Fr.) Donk as well). Porvoo (*Nyberg* 1927, 1934, H). Porvoo rural commune, Emäsalo, Kråkö (*Nyberg*, H); Tirmo (*Nyberg* 1925, H); Vessö (*Nyberg* 1931, 1932, H). Pukkila, Pakkala, Torpinkylä. Pyhtää, Purola. Ruotsinpyhtää, Ruotsinkylä; Vahterpää. Sipoo, Hangelby; Myyras (*Hintikka* 1965, HFR); Pohjois-Paippinen. Siuntio, Böle; Suitia. Tammisaari (*v. Schulmann* 1957, HFR); Odensö; Ramsholm (*Malmström* 1937, H; *Kujala* 1962, HFR). Tuusula, Nahkela; Paijala; Ruotsinkylä (over 10 finds, HFR); Rusutjärvi; Vanhakylä. Vantaa, 10 finds (H, HFR).

South Karelia. Anjalankoski, Sippola, Kelkka; Ruotila (*Kujala* 1946, 1961, HFR); 5 km from Sippola church on the way to Myllykoski; forestry school. Kotka, Langinkoski. Lappeenranta, Rutola. Virolahti, Hämeenkylä (*Kurkela* 1966, HFR).

Satakunta. Kiikka, Kilpijoki. Kullaa, forestry school. Laitila, Leimäki (*Såltin* 1949, H, TUR). Noormarkku, Poosjoki (*Laurila* 1937, HPP). Pomarkku. Pori, Reposaari. Viljakkala, Inkula (*Niemelä* 1970, H). Yläne (*Sarvas* 1930, HSI); Elijärvi (*P. Kallio* 1959, TUR).

South Häme. Asikkala, Urajärvi. Hattula, Suontaka; Vuohiniemi. Hollola, Kalliola (*Haikonen*, 1969, H); Messilä (*Haikonen* 1974, H). Hämeenlinna, Aulanko. Janakkala, Hakoinen; Turenki; N of Turenki. Lammi, Evo; Vahtervehmas; Kilparisti. Lempäälä, N of Tervajärvi. Loppi (*Mikola* 1952, HFR); SW of Kesijärvi, Läyliäinen, Haapastensyrjä. Somero, Pajula (*Roms* & *Såltin* 1967, TUR). Renko, Ahoinen. Tampere, Hervanta (*Söderholm* 1975, H); the Kaupinoja Nature Reserve (*Niemelä* 1966, HFR). Valkeakoski (*Vaartio* 1967, HFR); Sääksmäki, Rapolanharju.

South Savo. Imatra, Tainionkoski. Luumäki, Muikku; Luotola. Rantasalmi, Hiltula (*Korhonen* 1976, HFR) Ruokolahti, Aholampi; Rautionhovi (an old planted spruce stand); Reinikkala. Savitaipale, E of Järvitaipale. Valkeala (*Kujala* 1959, 1967, HFR); Haukjärvi; Vaahtermäki.

South Ostrobothnia. Laihia (*T. Kallio*, personal communication). Vähäkyrö, Kuuttila (*Kurkela* 1964, HFR).

North Savo. Kuopio, Puijo (in stumps of old trees).

North Karelia. Polvijärvi (*Carpelan* 1938, H; *Picea?*).

Middle Ostrobothnia. Perho (*Liro* 1905, HSI).

Kainuu. Puolanka, Paljakka (*Norokorpi* 1976, HFR).

Kuusamo. Kuusamo, Oulanka (*Ohenoja* 1976, OULU).

North Ostrobothnia. Haukipudas, Kalimenoja, NW of Tuirahovi (*Ulvinen* 1969, OULU). Rovaniemi, Pisavaara (on a fallen tree, *Kujala* 1957, 1960, HFR; on the underside of a fallen and decayed trunk, *Eriksson* & *Kujala* 1960, HFR); Viiri (on a spruce log on the ground, in a dryish spruce stand, *Hintikka* & *Kurkela* 1966, HFR).

[U.S.S.R. *Karelian A.S.S.R.* Kuusamo, N of Paanajärvi, Helotuksenkuru (*Laurila* 1937, HPP).]

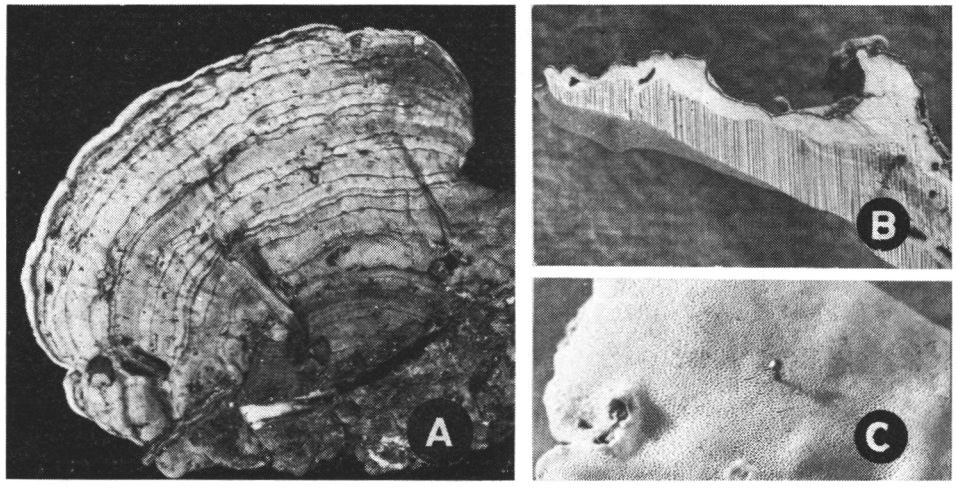


Fig. 2. *Heterobasidion annosum*. Sporophores on *Picea abies* A. Upper surface. B. Vertical section. C. Lower surface. — All the pictures taken by L. Laine.

Kuva 2. Heterobasidion annosum. Itiöemiä kuusessa. A. Yläpinta. B. Halkileikkaus. C. Alapinta Kaikki kuvat L. Laineen.

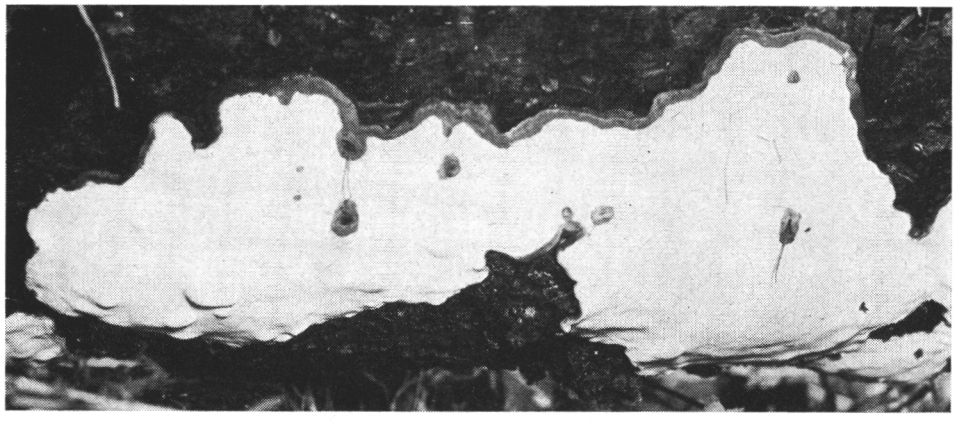


Fig 3 *Heterobasidion annosum*. Resupinate sporophore on the lower surface of a fallen trunk of *Picea abies*.

Kuva 3. Heterobasidion annosum. Resupinaatti itiöemä kaatuneen kuusenrungon alapinnalla.

Heterobasidion annosum seldom occurs on *spruce seedlings and young trees*. Occasionally, however, in young spruce trees sporophores of this fungus can be seen at the butt, as small pustules on the root collar under a protective layer of moss, and on the roots. It seems that if a spruce seedling is infected by the fungus it will soon die without allowing sufficient time for the decay to climb up the stem. Not only young seedlings growing in spruce stands have been seen to die, but occasionally also young spruce trees growing as an admixed species in seedling stands of pine.

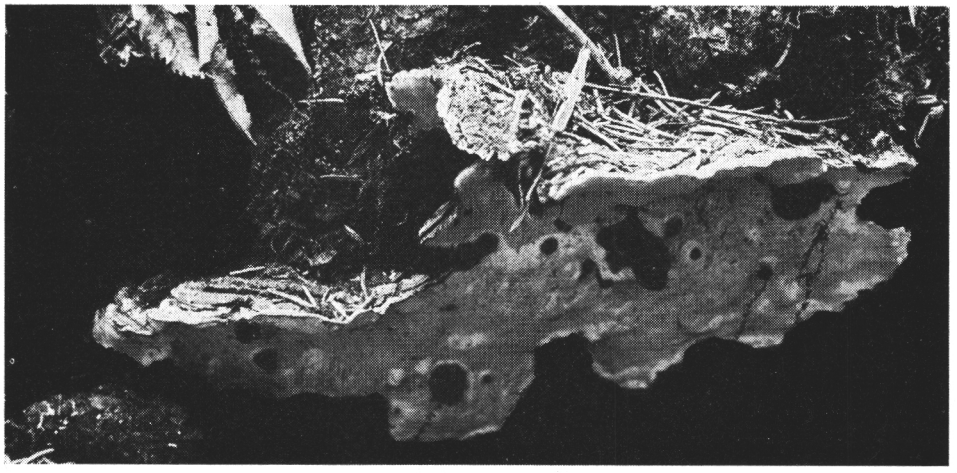


Fig. 4. *Heterobasidion annosum.* Semi-resupinate sporophore on the stump of *Picea abies.*
Kuva 4. Heterobasidion annosum. Puoliresupinaatti itiöemä kuusen kannossa.



Fig. 5. *Heterobasidion annosum.* Sporophores in the root system of a fallen *Picea abies.*
Kuva 5. Heterobasidion annosum. Itiöemiä kaatuneen kuusen juuristossa.

In *mature spruce trees*, sporophores of *Heterobasidion annosum* often occur as an extensive covering on the underside of fallen trunks, and in the root systems of tilted and fallen trees. They are often resupinate but some are semi-resupinate or shelf-like, depending on the location of the substrate (Fig. 2—5). Only very seldom have sporophores been observed at the butt of standing spruce trees under moss layer or at the butt of fallen trees with crowns in good condition. Such cases have occurred mainly in very luxuriant, dense stands, particularly in Southwest Finland. Sporophores occur in the cavities formed inside highly decayed spruce stumps. Such stumps can be very old, up to more than 35 years (e.g. at Lapinjärvi). Sporophores survive for a long time also on the outer surfaces of decayed stumps and in the roots. Finding the sporophores in spruce stands is often difficult, especially if there are no tilted or fallen trees, or stumps, on the site. In these cases the presence of the fungus must be verified by other means.

In mature spruce trees *Heterobasidion annosum* produces decay not only in the roots but, above all, in the stem where the decay advances in the heartwood to a height of several (even more than 10) metres from the butt. On a cross section, the decay is often seen in the shape of a circle, following the growth rings. Sometimes it is less regular, forming an asymmetrical figure or appearing in scattered patches. The presence of decay cannot be reliably shown e.g. from specimens taken with an increment borer. In a spruce with advanced decay, only a thin layer of the superficial part of the stem is healthy, solid wood. The bulk is decayed wood, within which a growing cavity often develops following the destruction of cellular tissue. Simultaneously with *Heterobasidion annosum* there occur in the spruce a number of other fungi and microbes, especially *Armillariella mellea* (Vahl) Karst. Their proportion is considerable, especially in advanced decay (cf. Kallio & Tamminen 1974). The butt of decay-affected spruce trees is often abnormally thickened. Similarly thickened butts can be seen also in healthy trees, and therefore this characteristic is not a reliable indication of a decayed tree (e.g. Kallio & Tamminen 1974).

Heterobasidion annosum retards the growth in the crowns of mature trees, changes the colour of needles (yellowish tinges), and spoils the crowns. Diseased spruce trees can survive for a long time in a decayed condition. They are, however, likely to be broken by wind and snow, and are readily uprooted. The disease often occurs in patches in the stands. Close-standing trees are infected one after the other, so that groups of stunted, decayed trees are formed. When the disease develops further, gaps occur in the middle of these patches as the decayed stems dry out or fall to the ground. The gaps gradually increase in size. The presence of the fungus in the diseased patches is chronic in character and difficult to detect, particularly in its early stages.

In the spruce especially, the decay produced by several other fungal species, when viewed by the naked eye, much resembles that produced by the *Heterobasidion annosum*. As a result, mistaken conclusions concerning the incidence of *Heterobasidion annosum* have been drawn, especially in studies in the northern parts of Finland (see below).

Although *Heterobasidion annosum* is one of the most important decay fungi found

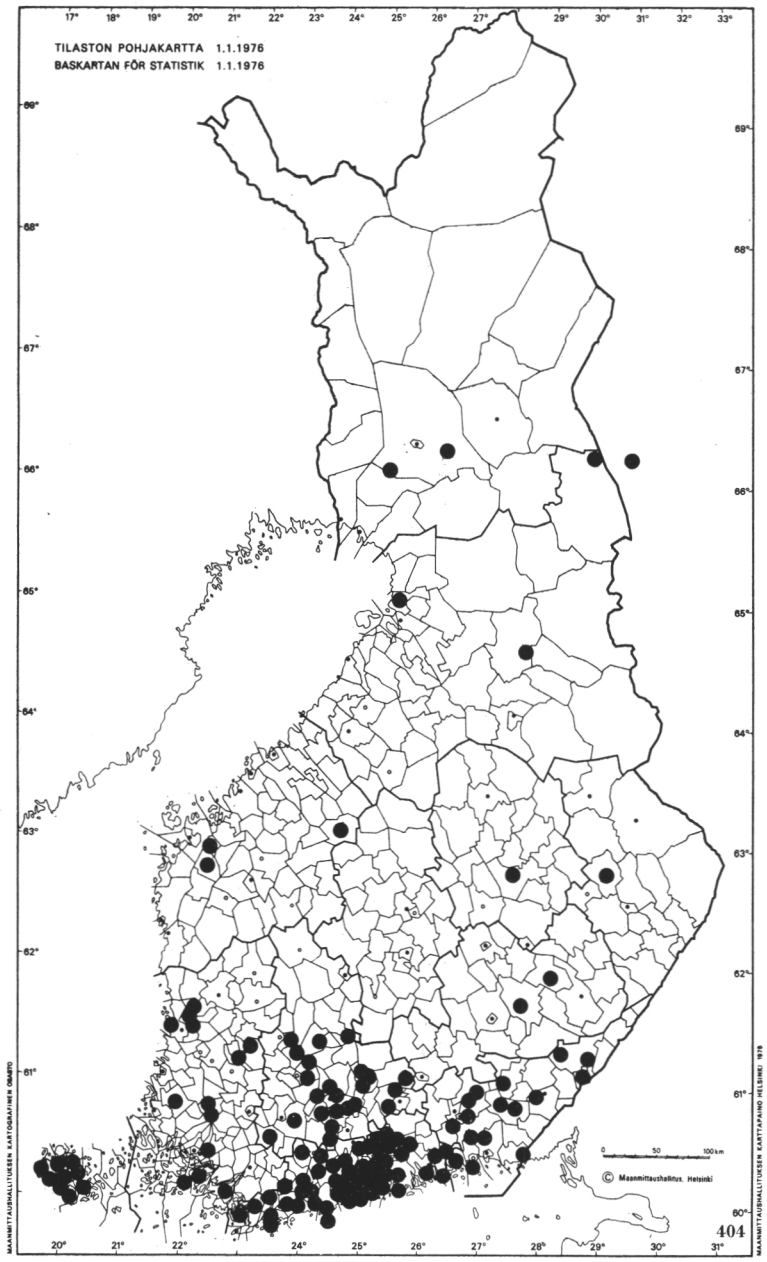


Fig. 6. The distribution of *Heterobasidion annosum* on *Picea abies* in Finland (verified by sporophore finds or fungal cultures).

Kuva 6. Juurikäävän levinneisyys kuusella Suomessa (itiöemälöydöin tai sieniviljelyin tarkistetut tiedot).

on spruce, the literature provides no reliable information on its incidence in Finland, nor are spruce stands the main concern of the present study. Owing to this, the area of distribution verified by sporophores and fungal isolation (Fig. 6) represents only a part of the total occurrence. Actually the fungus is more common and more abundant in spruce than is suggested by the map.

Heterobasidion annosum is found in the spruce in Finland up to the Arctic Circle in Rovaniemi rural commune (Pisavaara Nature Park, and the Kivalo Research Forest) and from northeastern Kuusamo. Eriksson and Strid (1969), who studied the *Aphyllophorales* fungi in North Finland, reported the *Heterobasidion* from Pisavaara only, where it had previously been recorded by V. Kujala (1957, HFR). Their opinion that the species in its northern habitats grows only on fertile forest soils and for this reason is uncommon e.g. in North Finland, seems well-founded. Rennerfelt (1946) reported Vitträsk in Jällivaara (66° 20′ N) as the northernmost place of discovery in spruce in Sweden. Eriksson (1958) claimed that the species does occur, though rarely, in the Muddus National Park. From across the eastern frontier of Finland the fungus has been collected in spruce e.g. north of Paanajärvi in the area of the Karelian A.S.S.R. (66° 40′ N, *Laurila* 1937, HPP). According to Juutinen (1958), the fungus was not found at all in an extensive sample material of North Finnish spruce stands. It seems justified to consider that information claiming *Heterobasidion annosum* to be an important decay fungus in the spruce of North Finland (Heikinheimo 1920, p. 120—121; Lakari 1920, p. 9; Tikka 1934, p. 6, and 1935, p. 207—211) is erroneous. A map published by Kallio (1961) on »root fungus infected areas» reported in Finland, includes northern areas with decay that, as Kallio himself correctly assumed, was evidently produced by fungal species other than *Heterobasidion annosum*. The present field studies in North Finland were relatively limited. The observations obtained support the view that the fungus is very rare there. Investigations in the districts of North Ostrobothnia and Kainuu are also rather incomplete as yet. Information published by Kallio (1961) on the distribution of the species in the coastal districts of the Gulf of Bothnia, whence sporophore observations to date are few, is supported by Rennerfelt's (1946) report, according to which the species is fairly common on the Swedish coast of the Gulf of Bothnia. Kallio's map apparently gives a mainly correct picture of the distribution of *Heterobasidion annosum* in spruce in the southern parts of Finland.

Herbarium specimens are most numerous from Ahvenanmaa and the coast of the Gulf of Finland, especially Uusimaa. In Ahvenanmaa, *Heterobasidion annosum* seems to be even more common than in the coastal districts elsewhere (cf. Laine 1968a, Kallio & Tamminen 1974).

According to current information, *Heterobasidion annosum* in the spruce in Finland is most abundant in the coastal districts, and its incidence declines towards the north and the interior of the country. The patchwise occurrence is a characteristic feature. The species has on rare occasions been seen as far north as the Arctic Circle, but its incidence e.g. in Kainuu requires further research.

317. *Picea glauca* (Moench) Voss

Uusimaa. Elimäki, Mustila.

Heterobasidion annosum was isolated from the roots of standing, dried out trees. No sporophores were discovered.

318. *Picea engelmannii* Parry ex Engelm.

Varsinais-Suomi. Bromarv, the Solböle Research Forest (13/29).
Uusimaa. Tuusula, Ruotsinkylä (30/29).

Resupinate sporophores in the roots of a tree recently blown down in a storm (Solböle). Small pustules at the butt of stunted trees (Ruotsinkylä).

319. *Larix decidua* Miller

Uusimaa. Tuusula, Ruotsinkylä (52/30 and 53/30).

Smallish sporophores along the sides of decayed stumps. No observations recorded from living trees.

320. *Larix sibirica* Ledeb. (cf. Jalas & Suominen 1973, p. 17).

Varsinais-Suomi. Lohja, Kirkniemi.
Uusimaa. Tuusula, Ruotsinkylä (110/31 and 448/50).
South Häme. Lammi, Evo.
South Savo. Punkaharju, the Punkaharju Research Forest (12/80).

Sporophores, usually small in size, at the butt of stunted or dead trees or in the decayed roots of fallen trees. At Punkaharju the sporophores were large. The infection attacks young and mature trees in the same way as in pine. The roots decay, the cut stump surface becomes resinous and shows a number of decayed patches. The trees die standing or fall to the ground because their roots are decayed, both individually and in groups. Bearing in mind that this is a tree species commonly cultivated in Finland, the incidence of the disease must be considered low.

321. *Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzeneva

Uusimaa. Tuusula, Ruotsinkylä (*Kujala* 1920, HFR: *L. dahurica*); (42/30 and 49/30: *L. gmelinii* var. *japonica*).

Medium-sized sporophores in decayed stumps (especially where small rodents have dug their tunnels). The fungus has also been isolated from a stunted standing tree.

322. *Pinus contorta* Douglas ex Loudon (var. *latifolia* Engelm.)

Uusimaa. Tuusula, Ruotsinkylä (7/29, 65/30, 116—118/31, 121/31, 403—404/43, 409/44).
South Häme. Urjala, Nuutajärvi (16/31).
South Savo. Mäntyharju, Miikkanen (—/33). Punkaharju, the Punkaharju Research Forest (97/29, *Kanerva* 1953, HFR, *Saarnijoki* 1962, HFR, *L. L.;* K u j a l a 1948).

Large-sized sporophores were often seen in the roots of fallen trees and their stumps. In many cases sporophores were also seen in the roots of trees that had recently been blown down in a storm, although the crown of the trees still seemed to be in good condition. The roots of these trees were heavily decayed.

Both in the Ruotsinkylä and Punkaharju Research Forests *Heterobasidion annosum* was discovered when the stands were still young, especially in Punkaharju where a gap of some 200 sq.metres was seen as early as 1948 (K u j a l a 1948).

Wherever *Heterobasidion annosum* was found in *Pinus contorta*, the damage it had caused was considerable. In the Punkaharju stand (97/29) new trees are constantly being infected. For this reason the stand, with an area of a hectare, now has a large number of gaps. However, other *Pinus contorta* stands at Punkaharju have not shown the fungus. In Ruotsinkylä the fungus grows in many stands representing trees of varying provenance. K u j a l a (1948) found the fungus in one stand in Ruotsinkylä. On an infected site at Mäntyharju there was severe *Heterobasidion annosum* damage when the stand was 30 years old (1963). Since then the disease has led to the destruction of still more trees. Several dozens have died either standing or fallen, because of the decay in their roots. Gaps have also been observed on the Nuutajärvi site.

Elsewhere in Finland no *Heterobasidion annosum* has so far been found in *Pinus contorta*, although numerous other stands have been investigated in South and Central Finland. Certain of the planted stands inspected have been in the immediate neighbourhood of pine stands which *Heterobasidion annosum* damage was visible. No new additional records were made in connection with the *Pinus contorta* studies by W e i s s e n b e r g (1972, 1975).

Heterobasidion annosum has been found to cause the death of groups of trees in *Pinus contorta* stands even at the early age of 20 years. The roots are heavily decayed, but the disease is not always manifested by a poor condition of the crown.

Pinus contorta is fairly commonly grown in Finland, and interest in the species is great (H e i k i n h e i m o 1956, W e i s s e n b e r g 1972). Although *Heterobasidion annosum* in this species seems to be uncommon in this country, it has in some cases produced considerable damage. For this reason the threat caused by this fungus must be taken into account when new stands are planted.

323. *Pinus sylvestris* L.

Ahvenanmaa. Maarianhamina, Ytternäs (* = observed in seedlings only).
Varsinais-Suomi. Bromarv, Solböle (*Kaivos* 1972, HFR; *L. L.*). Karjaa, Mustio. Karkkila, Ahmoo, Toiva; 4 km W of the centre. Lohja, Kirkniemi (several finds); Vanhakylä (*). Pusula, Hyönölän-

harju (*). Suomusjärvi, Lahnajärvi (*Laiho* 1965, HSI); Lahnajärvi, Laperla. Tenhola, main village; Ovanmalm; Smedsede. Turku, Metsäkylä (*Kari*, det. *L. L.*, 1956, TUR).

Uusimaa. Espoo, Luukkaa (*). Helsinki, Laajasalo (*Frey* 1936, H); Tuomarinkylä. Hyvinkää, Kaukas. Inkoo, Degerby; Fagervik. Kirkkonummi, Lapinkylä; Porkkala (*). Lapinjärvi (*Hintikka* 1969, HFR, *). Mäntsälä, Hirvihaara (*); main village (*). Nurmijärvi, Raala (*); Rajamäki. Porvoo rural commune, Emäsalo (*). Snappertuna, Jomalvik. Tammisaari, Ramsholmen. Tuusula, Hyrylä; Nahkela (*); Ruotsinkylä (*Kujala* 1946, 1955, HFR; several finds, *L. L.*); Vanhakylä (*).

South Karelia. Anjalankoski, Saaramaa, (Purho; Kelkka). Miehikkälä, Savanjärvi. Virolahti, Kurkela (*Kurkela* 1962, 1963, HFR; *L. L.*). Ylämaa, Lohko; Villala.

Satakunta. Alastaro, Virttaankangas. Eurajoki, Olkiluoto (*Kaivos* 1974, HFR, *). Kiikka (several finds, *T. Kallio; L. L.*, *). Oripää, Latva (in mature and small trees). Parkano, Alaskylä. Pori, Yyteri (*Kurkela* 1966, pers. comm.). Ulvila (*). Punkalaidun (*T. Kallio*, pers. comm.; *L. L.*, *). Viljakkala, Inkula (*Niemelä* 1966, HFR).

South Häme. Asikkala, Vesivehmaa; Vehko; Vääksy. Hartola, Juvanharju (*). Hattula, Kanajärvi; Suontaka; Vuohiniemi. Heinola, Nynäs. Heinola rural commune, 6 finds (HFR). Hollola, Tennilä (*). Hämeenlinna, Aulanko; Miemala (*). Jaala, Taipale. Jämsänkoski (*Koskinen* 1938, H, TUR). Lammi, Evo. Loppi, Läyliäinen (*Hintikka* 1968, HFR, *); Teväntö, Topeno. Padasjoki, the Vesijako Research Forest (*). Renko, Ylimmäinen. Somerniemi, Salkola; Keltiäinen (*). Tammela, Hykkilä; Liesjärvi (*); Mustiala (*Karsten* 1866, H); Teuro (*). Tampere, Ruutana. Valkeakoski, Rapolanharju (*).

South Savo. Anttola, Harappala; Hauhala; Saamainen (*). Enonkoski. Hirvensalmi, Parkkola; Ripatti. Imatra, Tainionkoski (*Poutanen* 1964, HFR). Joutsa, 9 km S of the main village. Joutseno, main village; Leppälä. Juva, 11 finds. Lappeenranta, 5 finds. Lemi, Ahtiala; Heikkari, Hietamies; Hyvärilä. Luumäki, Hietamies; 7 km W of Heimala; Kaitjärvi; Luotola; Sarvilahti. Mikkeli rural commune, 9 km E of the centre. Mäntyharju, 10 finds. Puumala, 12 finds. Rautjärvi, the Rautjärvi railway station; Untamo. Ristiina, 11 finds (HFR). Ruokolahti, 14 finds. Savitaipale, main village, Peltoinlahti. Sulkava, 6 finds. Suomenniemi, 6 finds. Sääminki, 8 finds. Taipalsaari, 9 finds. Valkeala; 7 finds.

Ladoga Karelia. Parikkala, Pitkäpohja; Simpele; Särkisalmi. Saari, Mikkolanniemi (*Ahonen* 1963, HFR). Uukuniemi.

North Häme. Keuruu, Hoskari. Rautalampi, Kerkonkoski (*Lilja* 1976, HFR; *Korhonen* 1976, HFR). Toivakka, Ruuhimäki.

North Savo. Muuruvesi (*Laiho* 1966, personal comm.).

North Karelia. Ilomantsi, Möhkö, close to the Petkeljärvi National Park. Kesälahti, 5 finds. Liperi, S of Kuorima, close to Ylämylly; Viinijärvi.

South Ostrobothnia. Vähäkyrö, Kuuttila (*Kurkela* 1973, HFR, *).

Middle Ostrobothnia. Evijärvi, 8 km from the main village towards Teerijärvi (*Kurkela* 1968, HFR, *).

3231. Young pine trees

In young pine seedlings and young trees, sporophores of *Heterobasidion annosum* are formed on the root collar at the butt of the stem (Fig. 7) and in roots under a covering of moss. They are often irregular pustules, less than 1 cm in diameter, but may also develop into rather large sporophores 5—10 (—15) cm in diameter, with a normally developed pore layer. In seedlings, sporophores sometimes occur on the fine roots at a distance from the butt, especially on very barren sites (e.g. Tuusula and Puumala). In these cases a pore layer may occasionally develop on the upper surface of the sporophore, but this is exceptional.

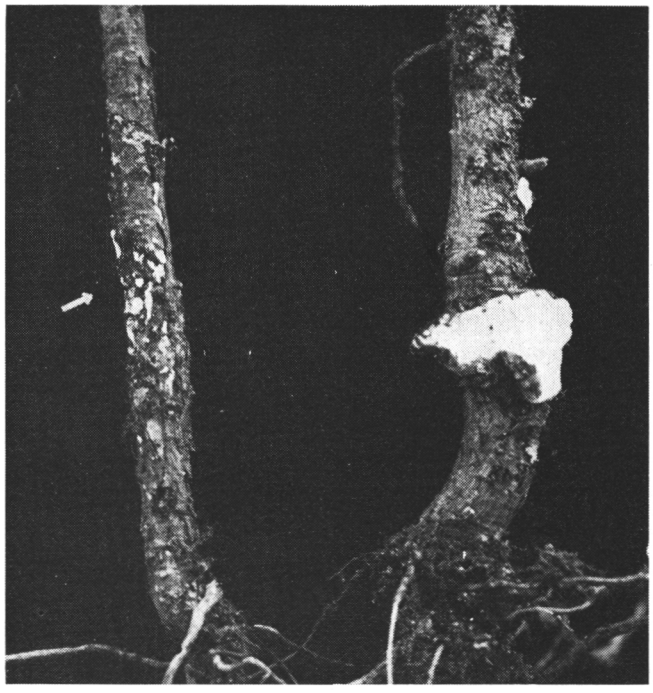


Fig. 7. *Heterobasidion annosum*. Pustules (arrowl) and small sporophores at the base of young *Pinus sylvestris*.
Kuva 7. Heterobasidion annosum. Nystyröitä (nuoli!) ja pieniä itiöemiä nuorten mäntyjen tyvellä.

The disease caused by *Heterobasidion annosum* may infect pine seedlings when they are quite young, only a few years old. They will then die within a short time (the interval depending on the circumstances), since their roots are destroyed. The disease is difficult to detect in a young tree, but its identification is often facilitated by the rather frequent occurrence of the disease in older trees on the same site.

Leakage of resin and abnormal thickening are often seen at the butt of the infected seedling. The needles in the crown change colour. They first become greyish green, then yellowish, a reddish brown, brown and finally grey. The changes take place simultaneously over the whole crown (in pine blister rust produced by the *Cronartium* species the parts above the affected spot die, but those below survive). The needles not only change colour but also fall off, so that the crown of the diseased tree gradually becomes sparse and finally bare. The length of the needle in diseased seedlings does not usually differ from the normal, apart from the shoot of the last year before the seedling dies. It is often stunted in development. In height and thickness the development of the diseased seedling hardly differs from that of a healthy one. Well-developed seedlings are often attacked by the disease.

Heterobasidion annosum decays the roots of the seedlings so that the diseased pine trees can easily be knocked down or pulled off the ground by hand. On this point they usually differ from pine trees that have died or become stunted from other causes.

The disease occurs in pine seedlings individually or groupwise. In the latter case especially, gaps develop in increasingly widening circles. If the disease infects seedlings sporadically here and there in the stand, the damage caused is perhaps not very considerable unless the disease continues in a chronic form for a long time on the same site.

On several sites, planted pine seedlings have been observed to die in young plantations established after the clear-cutting of spruce stands infected by *Heterobasidion annosum*. Recently, such sites have frequently been discovered in areas where earlier information indicated no appreciable disease in pine stands.

A stand of natural seedlings growing on the former site of a mature pine stand infected with *Heterobasidion annosum* often also acquires the infection. The number of natural seedlings is as a rule remarkably large, and a good many usually survive. The survivors generally seem to be more resistant to the disease than the average seedling. For this reason it is recommended that the natural seedlings growing on the site should be preserved rather than replaced by planted seedlings (see also Negruckij 1973). However, if planting is preferred, care should be taken not to use seedling material susceptible to *Heterobasidion annosum*.

The death of pine seedlings can also be caused by *Armillariella mellea*. Most of the seedlings it kills are young, under 2.5 metres in height, and the disease may look very much like that produced by *Heterobasidion annosum* (cf. Hintikka 1974). The presence of the honey fungus can be recognized e.g. from the rhizomorphs under the bark of the seedlings, typical of the honey fungus, and from its sporophores at the butt of the seedlings (visible only for a short period in the autumn). The honey fungus and *Heterobasidion annosum* can also be simultaneously present in pine seedlings. In Finnish conditions the honey fungus infection seems to start from an injury to the seedling (Hintikka 1974). The honey fungus kills considerably fewer pine seedlings in Finland than *Heterobasidion annosum* and is therefore less important.

Some insects that invade pine seedlings can cause damage similar to that produced by *Heterobasidion annosum*. *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae), by biting the seedling, causes injuries which may result in its death. *Heterobasidion annosum* pustules and small sporophores may later develop in the bite wounds at the butt of the seedlings (Nuorteva & Laine 1968, 1972). It is often difficult to make sure whether a fungus or a pest is involved when these causative agents appear simultaneously. It also seems possible that *Hylobius abietis* acts as a carrier of *Heterobasidion annosum* from the infected to the healthy pine trees (Nuorteva & Laine 1968, 1972).

In recent years, damage that was attributed to *Heterobasidion annosum* but later demostrated as insect-induced has been observed, particularly on poor, dry, warm

and sandy pine-growing sites on mineral soils, in rather young (20—30 year old) seedling stands. The chief cause of this damage has been *Aradus cinnamomeus* Panz. (Heteroptera, Aradidae), an insect previously practically unknown in Finland as forest pest, but which has recently become increasingly common and thus presents a more serious risk (L a i n e 1968 b, 1971). *Aradus cinnamomeus* has caused injuries e.g. in the same areas as *Heterobasidion annosum*. They may be seen simultaneously (e.g. Ruotsinkylä Research Forest, Tuusula), but usually *Aradus cinnamomeus* is responsible for the greatest damage in seedling stands growing on extremely poor sites where *Heterobasidion annosum* usually does not occur.

Earlier information on *Heterobasidion annosum* in pine seedlings in Finland is very scanty. Herbarium specimens (small sporophores at the butt of the seedlings) were collected as early as 1946 by V. K u j a l a in the Ruotsinkylä Research Forest in Tuusula. V a a r t a j a (1950) observed injuries produced by this fungus in pine seedlings and pole-sized pine trees at Savitaipale in Southeast Finland. J u u t i n e n (1962) investigated fungal and insect injuries in over 200 planted stands of pine seedlings in South Finland but found *Heterobasidion annosum* in only six of them. At the time of the investigation, the stands were not more than 7—9 years old, which may be a contributory factor to the low number of the *Heterobasidion annosum* observations.

Damage caused by *Heterobasidion annosum* in pine can be seen in the seedlings alone, and sometimes both in the seedlings and the growing mature trees. Many observations of the fungus on the periphery of distribution area involve young pines. This suggests that injuries to seedling stands are on the increase. It was pointed out earlier that when a spruce stand infected with *Heterobasidion annosum* has been clear-cut and a pine stand established in its place, fresh infection has increasingly often been observed in the planted pine seedlings.

The data on the distribution of *Heterobasidion annosum* in the pine in Finland is presented in Fig. 00. The findings on seedlings and mature pine trees have not been separated. The places where finds were made on seedlings only are marked with an asterisk (*) on the list (p. 20—21).

3232. Mature pine trees

At the butt of mature pine trees, sporophores of *Heterobasidion annosum* are mostly small (1—5 cm in diameter) and poorly developed, and lie under a covering of moss. This applies also to stunted and dead trees. The sporophores at the butt of large trees are more difficult to find than those on seedlings. They are usually even more frequently deformed and poorly developed than on seedlings, have a poorly developed pore layer, and are often ill-defined spherical lumps. Even well-developed sporophores can be found in the root system and stumps of tilted and fallen pine trees. They are often resupinate and large in size. Sporophores also occur on the sides of stumps.

Occasionally large pine trees are infected individually, but it is more common that foci of infection develop in the stands, the disease spreading in a circle to enclose an area. This results in the formation of increasingly large gaps, »windows», for the diseased pine trees either die standing or fall to the ground because their roots are decayed. The initially small gaps grow gradually larger and eventually unite with those nearby. The gaps usually reveal stunted, dead and fallen trees, and their stumps, in various stages of decay. The infected sites are often difficult to find because the diseased trees are frequently removed with cuttings at short intervals. Relatively extensive clear-cuttings have also been quite frequent on the infected sites observed.



Fig. 8. Crowns of mature *Pinus sylvestris* trees affected by *Heterobasidion annosum*.
Kuva 8. Heterobasidion annosumin saastuttamien mäntyjen latvoja.

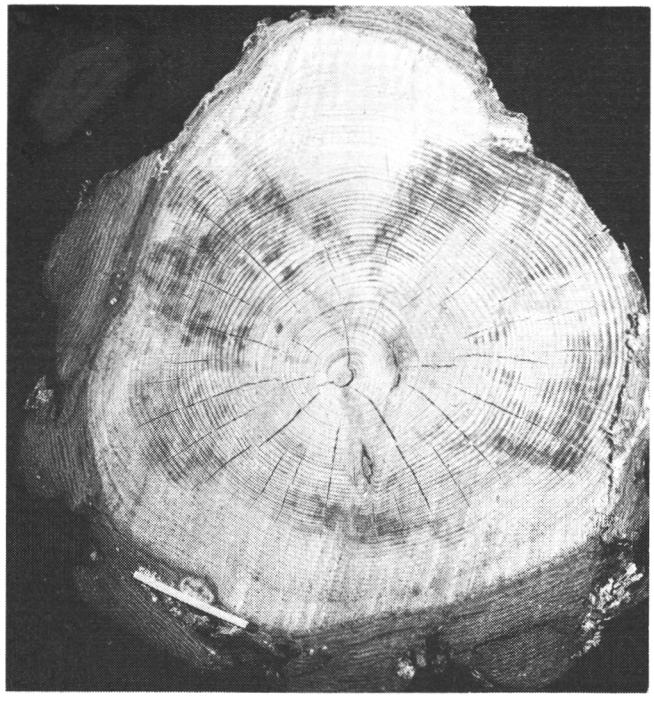


Fig. 9. Cut surface of a stump of *Pinus sylvestris* affected by *Heterobasidion annosum*.
Kuva 9. Heterobasidion annosumin saastuttaman männyn kantoleikkaus.

The gaps produced by the decay or the cuttings, on the other hand, are indications suggesting a possibly infected site.

The changes produced by *Heterobasidion annosum* in mature pine trees are very similar to those produced in seedlings. The colour changes of the needles, however, are associated with disturbances in the development of the needles' length. Before the tree dies the needles become short. The needles of an infected mature pine tree also in the course of time become less dense as the needles fall off. A thin and short needle foliage is typical of the pine on diseased sites (Fig. 8).

Individual trees along the periphery of the infected sites in pine stands may also have a »latent disease». In outward appearance the trees look intact but their roots are already contaminated and have begun to decay. Occasionally the crown is still in good condition although the disease already has advanced far in the roots of the tree. The butts of the trees also often exhibit a resinous exudation and a slight thickening. Most of the roots decay heavily. A part of the root system, and the butt of the stem, are markedly resinous, as can be recognized from a fairly regular stellate resinous configuration on the cut surface of stumps (Fig. 9), and from the characteristic strong smell of resinous wood. Decay in the roots is abundant and of identical

appearance to that of spruce, it is seldom visible at the height of, or above, the cut surface of the stump, and at the most in the form of tiny spots. On this point the disease in pine differs essentially from that in spruce. The pine roots become even more decayed than spruce roots, and since the pine forms no adventitious roots the disease soon proves lethal. The decay usually never advances upwards much beyond the butt, and therefore mycelium of this fungus is seldom seen in the stem. For the same reason sporophores of *Heterobasidion annosum* are seldom found on the underside of fallen pine trunks except, at the most, at the very foot of the butt. This is another point of difference from the spruce.

Other fungi and other microbes also combine to bring about the destruction of mature pines, and insects often deal the final blow to a diseased tree (e.g. N u o r t e v a 1965, N u o r t e v a & L a i n e 1968). If dead pine trees are felled soon after or just before their final death, hardly any of the decay produced by *Heterobasidion annosum*, or any other decay, will be found in the stems. The resinous part of the butt is limited to its lowest end. If left standing, the dead trees will very soon become rotten.

Some individual pines seem to be more resistant than others to the disease. Even on sites where the infection assumes a violent form, there are often individual trees that seem to be unaffected or at least remain so for a longer time than the surrounding pines. Such trees may be of importance in breeding for resistance to disease. The reason why some pine trees have an increased resistance has been sought e.g. in a difference in the capacity to excrete resinous substances, differences in chemical composition etc. (N e g r u c k i j 1973, and others).

The disease caused by *Heterobasidion annosum* spreads to many other woody plant species, growing on infected pine sites. The dying of *Betula* spp. and *Juniperus communis* is of especial interest as will be shown later (p. 31, 35). Spruce is usually scarce on these sites.

The dying of the woody plants produces changes in the ground vegetation of the pine stand affected with root rot. The species unaffected by the disease now compete under more favourable conditions. There is more light, the nutrient supply improves, and root competition is reduced. The proportion of grass-like plants tends to increase. *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth and *C. epigeios* (L.) Roth are among those that grow particularly luxuriant. A characteristic feature is the abundance and luxuriant growth of *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. The grass-growing areas or a fine growth of *Pteridium* on pine heaths can often be seen from afar and suggest sites where root rot of the pine has gained ground.

Earlier data on *Heterobasidion annosum* in pine trees in Finland beyond the seedling stand stage is largely not reliable. Most of the butt and root-rot that is attributed to this fungus has been produced by other decay fungi. This applies particularly to *Heterobasidion annosum* in the pine of North Finland where it has been reported »to be common up to the heaths of Paatsjoki» (cf. p. 5; H e i k i n h e i m o 1920, also T i k k a 1934, 1935). From his studies on the Karelian Isthmus, K a n g a s (1952) claimed that 6 % of the pines there were infected by *Heterobasidion annosum*,

against 0.3 % in the area he studied between Helsinki and Tammela. Even these data do not seem reliable but apparently refer, in most cases, to damage caused by other fungi. According to Kangas (1952), *Heterobasidion annosum* was almost non-existent on the typical pine soils (*Vaccinium* type and poorer sites) but this does not hold good, at least not today.

The herbaria contain only a few samples collected earlier from mature pine trees, and even these were taken from stumps or decayed logs (H, HFR, TUR). No earlier finds had been made from growing or recently dead standing pine trees in Finland. The root rot of the pine, which in connection with the present study proved to be caused by *Heterobasidion annosum*, first attracted the attention of professional foresters in Southeast Finland in the early 1950s (Laine 1964).

The map of Fig. 10 presents the data on the distribution of *Heterobasidion annosum* in pine in Finland. It shows only those finds, in pine trees of different ages, that could be verified by the discovery of sporophores or by pure cultures.

The concentration of the fungus in the pine on the southeastern districts of Finland, especially that of the Great Saimaa Lake, is obvious. An uninterrupted area of distribution extends to Asikkala in the west, and the northern boundary runs approximately along the line Asikkala—Joutsa—Juva—Rantasalmi—Punkaharju. West Uusimaa and South Häme show a weaker concentration, bounded approximately by the line Tenhola—Tammela—Hattula—Loppi—Helsinki. From East Uusimaa there are hardly any observations from pine although the fungus is common in spruce. Sporadic finds from outside the listed areas were made in Ahvenanmaa, Satakunta, South and Middle Ostrobothnia, North Häme, North Savo and North Karelia. On these sites the damage has so far been slight, and the observations mainly refer to pine seedling stands. The disease seems to be spreading in the pine, a trend suggested e.g. by the observations of its occurrence in pine stands planted on earlier spruce sites infected by *Heterobasidion annosum*. The information on pine obtained to date applies solely to the districts south of latitude 63 °N. The disease seems rare in pine along the coast, and the distribution differs from that outlined for spruce on the basis of the present knowledge.

324. *Pinus mugo* Turra

Uusimaa. Helsinki, Tuomarinkylä. Tammisaari, Kvarnbacken.
South Savo. Punkaharju, Punkaharju Research Forest.

Sporophores on the stems, below a curved butt under moss covering.

325. *Pinus cembra* L.

Uusimaa. Tuusula, Ruotsinkylä (53/30 and —/31).

Pustules and small sporophores at the butt of trees with decayed roots, and of stunted or dead trees. The affected sites show a formation of gaps resulting from the deaths of whole groups of trees.

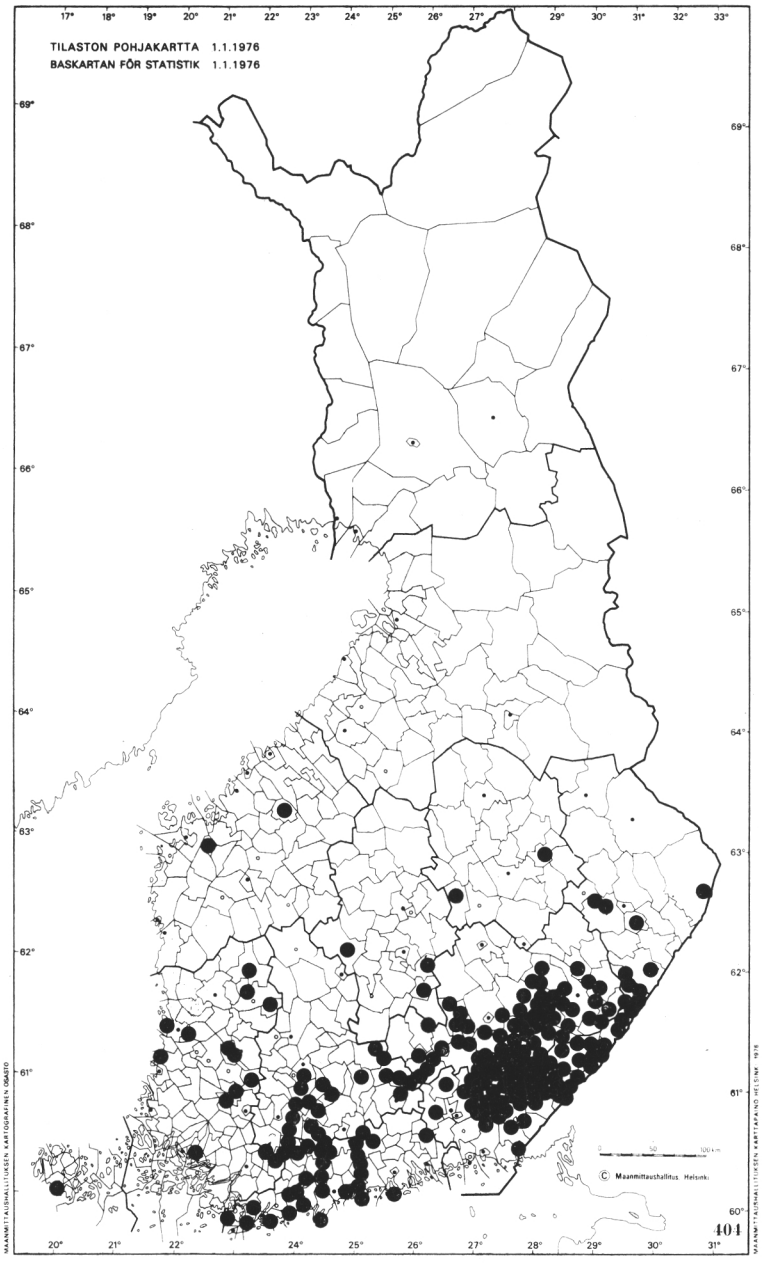


Fig. 10. The distribution of *Heterobasidion annosum* on *Pinus sylvestris* in Finland (verified by sporophore finds or fungal cultures).

Kuva 10. Juurikäävän levinneisyys männyllä Suomessa (itiöemälöydöin tai sieniviljelyin tarkistetut tiedot).

33. Cupressaceae

331. *Juniperus communis* L.

Ahvenanmaa. Föglö, Bråttö. Maarianhamina, Ytternäs. Sund, Gesterby.

Varsinais-Suomi. Karkkila, Tuorila; Sammallampi. Lohja, Kirkniemi; Torhola. Parainen, Lofsdal. Pusula, Hyönölänharju. Sammatti, Haarjärvi (*Saarnijoki* 1966, HFR). Suomusjärvi, Lahnajärvi. Tenhola, Ovanmalm. Vihti, Kotkaniemi.

Uusimaa. Espoo, Juhanila. Nurmijärvi, Klaukkala. Tuusula, Ruotsinkylä (several finds).

South Karelia. Anjalankoski, Kelkka. Virolahti, Kurkela. Ylämaa, Lohko; Villala.

Satakunta. Oripää, Latva.

South Häme. Asikkala, main village; Lusila; Vesivehmaa (several finds). Hartola, Rusinkylä *Saarnijoki* 1967, HFR). Hattula, Kanajärvi. Heinola, Nynäs. Heinola rural commune, Hujansalo; Paaso; Vierumäki (*Hintikka* 1968, HFR); E of Vierumäki. Jaala, Taipale. Lammi, Evo. Loppi, Teväntö; Topeno; Salo. Renko, Ahoinen; S of Oinaala. Ruovesi, Jäminkipohja. Somerniemi. Tammela, Hykkilä; Lunkaa.

South Savo. Anttola, Hauhala; Pitkälahti. Enonkoski, Karviala; Simanala. Hirvensalmi, Hirvenlahti. Imatra, Tainionkoski (*Poutanen* 1964, HFR). Joutsa, main village. Joutseno, main village; Rauha (large sporophores), Juva, 5 finds. Lappeenranta, Tapavainola; Törölä; Uuslavola. Lemi, Huttula. Luumäki, Risulahti. Mikkeli, Rahula. Mäntyharju, Kinni; Koirakivi; Miikkanen. Puumala, Harmaala; Kaijansalo; Muuramäki; Risulahti; Viljakansaari, Vesiniemi. Rantasalmi, Hiismäki. Rautjärvi, the Rautjärvi railway station; the Simolanmäki road (in a treelike juniper 11 cm thick at the butt). Ristiina, 5 finds. Ruokolahti, 8 finds. Savitaipale, Peltoinlahti; Uuhijoki. Sulkava, Kaartila; Sairalanmäki. Suomenniemi, Kiesilä; the main village; Luotolahti, Karhula. Sääminki, N of Pellossalo; Vuoriniemi. Taipalsaari, Kurhila; the Savitaipale road; Vitsai. Valkeala, Kourula; Kääpälä; Tuohikotti.

Ladoga Karelia. Parikkala, Pitkäpohja; Simpele, the main village. Uukuniemi.

North Häme. Rautalampi, Kerkonkoski (*Korhonen* 1976, HFR).

North Karelia. Kitee, Kiteenlahti. Liperi, Viinijärvi; Ylämylly.

Pustules and small or smallish (the largest c. 10 cm in diameter, in Joutseno) sporophores grow at the butt of dying and dead junipers, especially on the curve of the butt hidden by moss. There are hardly any sporophores on the roots. Sporophores may sometimes be seen in junipers of healthy appearance and in good condition.

The needles of the junipers affected by *Heterobasidion annosum* first acquire a greyish green colour, and then turn yellow, reddish and finally brown. The dead needles are gradually shed. The changes in the needles are simultaneous throughout the individual juniper. The roots and the butt of the diseased junipers decay heavily. As a result, it is easy to pull a diseased or dead juniper out of the ground, in contrast to the healthy bushes and those that have died or become diseased from other causes. *Heterobasidion annosum* occurs in junipers of all ages. The biggest, tree-like juniper in which the fungus was observed had an 11 cm thick butt (Rautjärvi). Once they are dead, junipers dry up relatively quickly. However, existing sporophores can still be found at the butt of a completely dry juniper after all the needles are gone. It is easiest, however, to detect the presence of sporophores from junipers that have died recently and still carry brown needles. In most cases they occur in the form of small

pustules, under 1 cm in diameter. In a ramified juniper some of the butt branches may be living while others are dead.

Heterobasidion annosum has not previously been recorded in juniper in Finland. The present investigation, however, revealed that the death of junipers from a disease caused by this fungus can be considered almost common in many places. Junipers growing in a diseased pine stand are particularly susceptible to this fungal infection, and they die, often at the same time as the pine trees, along the periphery of the gap made by the disease. Junipers growing in other types of stands, e.g. in spruce stands, seldom seem to be affected by *Heterobasidion annosum*.

The high incidence of juniper in pine stands, the easy identification of the sporophores (mainly in the form of small pustules) of *Heterobasidion annosum* and their occurrence in dying and dead junipers with decayed roots, together with the low economic value of juniper to forestry are factors that make the juniper a good indicator for studies of the occurrence of *Heterobasidion annosum* in pine stands.

When the forest is cut junipers are usually removed. The result is that there are numerous freshly cut surfaces which may promote the airborne distribution of *Heterobasidion annosum* from basidiospores. The stumps usually dry up quickly. Juniper is also destroyed by pulling it out by the roots (e.g. at Suomenniemi).

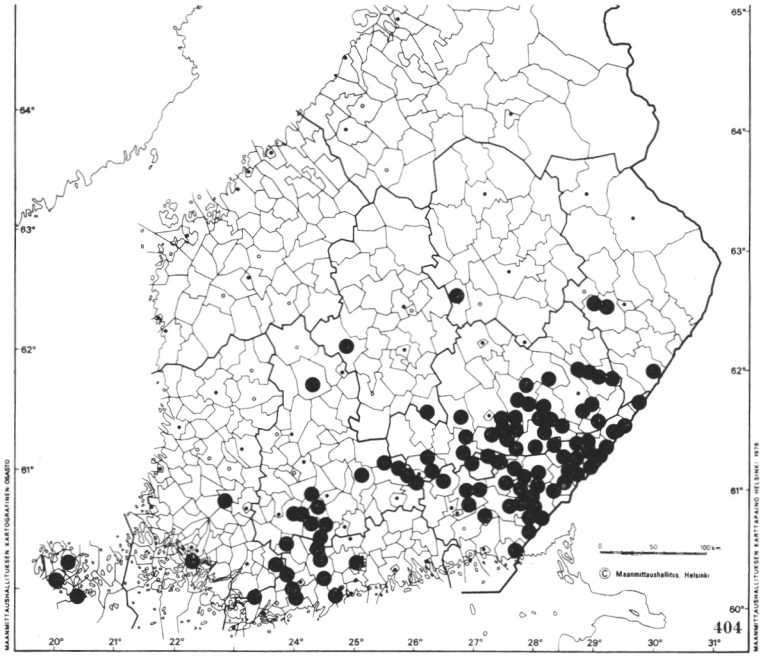


Fig. 11. The distribution of *Heterobasidion annosum* on *Juniperus communis* (verified by sporophore finds or fungal cultures).
Kuva 11. Juurikäävän levinneisyys katajalla (itiöemälöydöin tai sieniviljelyin tarkistetut tiedot).

Profuse juniper growth in particular may play a role in the spread and persistence of *Heterobasidion annosum* in the forest. Sometimes the sporophores at the butt of juniper are better developed than at the butt of pine, and may produce much more spores. Observations to date do not suggest that the juniper is essentially more susceptible to the disease than the pine and creates new foci of the pathogen in pine stands. On the other hand, the dying of juniper seems to promote the change in the ground vegetation of pine stands. It increases the grasses (especially *Calamagrostis* spp.) and makes the growth of *Pteridium aquilinum* more luxuriant.

It may be pointed out that the *Hylobius abietis* insect gnaws not only pine seedlings but also e.g. junipers (Nuorteva & Laine 1968) and, by so doing, may spread *Heterobasidion annosum* from diseased to healthy trees.

Fig. 11 presents the data, verified by sporophore finds and fungal cultures, on *Heterobasidion annosum* found in juniper in Finland. It was most frequent in Southeast Finland where, in many places, the fungus is quite common in juniper. Several reports have also been received from South Häme and West Uusimaa, whereas in East Uusimaa the fungus has hardly been found at all. In addition, there have been a few observations from Ahvenanmaa and Southwest Finland. The remainder of the observations are sporadic. The northernmost sites with the fungus in juniper are Ruovesi and Liperi. The distribution is very much like that in pine.

34. Salicaceae

341. *Populus tremula* L.

Uusimaa. Tuusula, Rusutjärvi (*Hintikka* 1976, HFR; *L. L.*) Vantaa, Hämeenkylä (a decayed fallen tree, with sporophores on the underside).

South Savo. Valkeala, Haukjärvi (decayed stump); Tuohikotti (decayed stump).

Heterobasidion annosum is rare in aspen (*Populus tremula*, Fig. 12). No observations on living trees have been recorded.

Aspen is apparently highly resistant to *Heterobasidion annosum*, as was observed by Roll-Hansen (1962), who pointed out that although in Norway the fungus has been discovered in numerous domestic and exotic tree species, it has never been found in aspen. In Finland, even though the aspen is a tree species very susceptible to decay, it is not decayed by *Heterobasidion annosum* but by other fungal species, especially *Phellinus tremulae* (Bond.) Bond. & Boriss. (e.g. Niemelä 1974). Evidently the aspen has qualities unfavourable to *Heterobasidion annosum*.

342. *Populus tremula* x *tremuloides* Michx

South Karelia. Anjalankoski, Sippola, forestry school, a tilted living tree, planted in 1952, with *Heterobasidion annosum* - produced decay and sporophores in the roots.

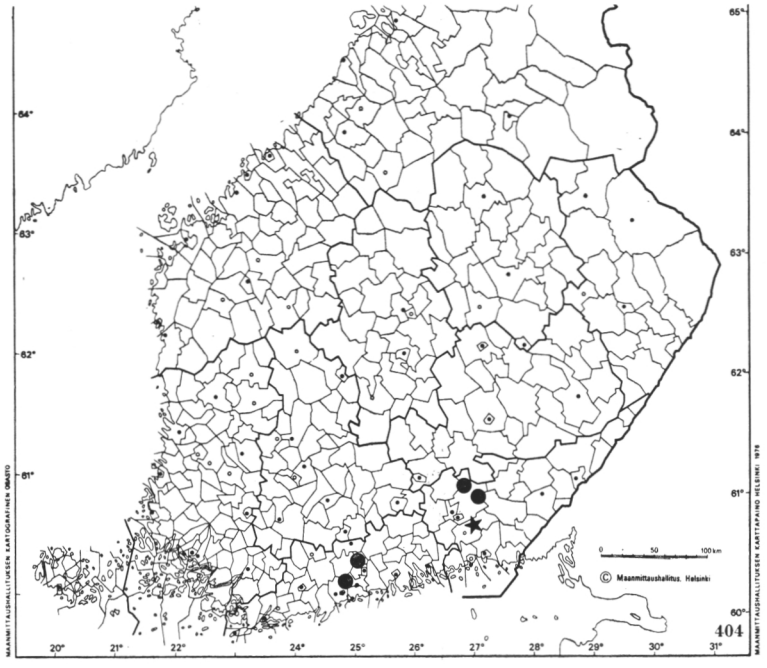


Fig. 12. The distribution of *Heterobasidion annosum* on *Populus tremula* (●) and *P. tremula* x *tremuloides* (★) in Finland. Data verified by sporophore finds or fungal cultures.

Kuva 12. Juurikäävän levinneisyys haavalla ja hydriidihaavalla Suomessa (itiöemälöydöin tai sieniviljelyin tarkistetut tiedot).

35. Betulaceae

351. *Betula pendula* Roth (abbreviation Bv), *B. pubescens* Ehrh. (Bp)

Varsinais-Suomi. Karjaa, Mustio. Lohja rural commune, on the boundary with Mustio (e.g. in the roots of a fallen but living Bv). Vihti, Herrakunta (Bp).

Uusimaa. Espoo, Gumböle (*Kujala* 1945, HFR, stump). Helsinki, Käpylä (*Malmström* 1928, H, stump); Oulunkylä (*Kujala* 1946, HFR, stump). Siuntio, Suitia.

South Karelia. Miehikkälä, Savanjärvi.

Satakunta. Lappi, Lapinkylä (*Såltin* 1958, H). Parkano, Alaskylä.

South Häme. Hattula, S of Kanajärvi; Vuohiniemi (Bp, *Nuorteva* 1966, HFR; *L. L.;* Nuorteva 1966). Nastola, Ahtiala (*Vaartio* 1967, HFR). Renko, Ahoinen (Bp.); Ylimmäinen (Bp, fallen tree with dayed roots). Tammela, Pääjärvi.

South Savo. Anttola, Hauhala (Bv); Pitkälahti. Leivonmäki, Selänpohja (*Kurkela* 1964, HFR). Lemi (Bv, a stump with a large number of large sporophores). Luumäki, SW of Heimala; Luotola. Mäntyharju, Kinni (dead and dying trees in large numbers); Koirakivi; Miikkanen (Bp); Mäntyharju railway station, Jylhä. Punkaharju, the Punkaharju Research Forest (Bv, a dead tree in a planted *Pinus contorta* stand). Rantasalmi, Voinsalmi. Rautjärvi, Rautjärvi railway station (Bv, stump of

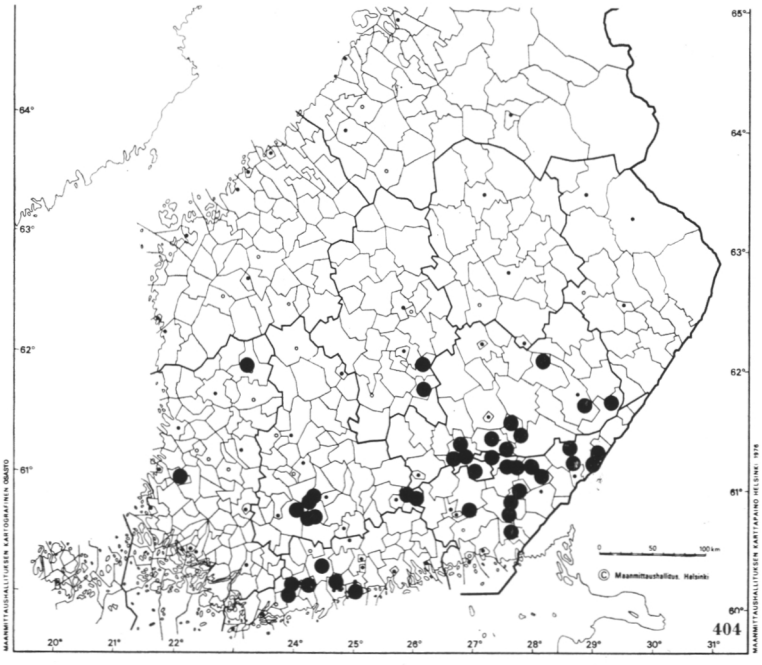


Fig. 13. The distribution of *Heterobasidion annosum* on *Betula pubescens* and *B. pendula* in Finland (verified by sporophore finds or fungal cultures).
Kuva 13. Juurikäävän levinneisyys hies- ja rauduskoivulla Suomessa (itiöemälöydöin tai sieniviljelyin tarkistetut tiedot).

a fallen tree; *Betula* sp., fallen but living tree); Partila (Bv). Ristiina, Tiirola (Bv); Suurlahti. Ruokolahti, Reinikkala; Salosaari, Kouvola. Savitaipale, Järvitaipale; Kuivasensaari. Suomenniemi, Luotolahti; Lyytikkälä — Lylys (Bv, on a 1-m high seedling). Sääminki, N of Pellossalo. Taipalsaari, Kirvesniemi; Vitsai (in a sprout tree). Valkeala, Kiuru.

North Häme. Toivakka, Ruuhimäki.

Small sporophores and pustules are formed under cover of moss at the butt of stunted standing trees. Resupinate, often large-sized sporophores occur in the roots of fallen birch trees and their stumps.

The branches and twigs of the crowns of birch trees affected by *Heterobasidion annosum* die, with the result that the crown becomes thinner year by year until the tree ultimately dies. On diseased sites, some birches may still have just a few living branches. The roots decay and diseased trees wither while still standing, or fall to the ground. The stems show signs of decay at the butt, starting from the roots.

In some cases fungal damage has been seen in quite young birch trees, but this seems to be uncommon.

The majority of the observations refer to mature birches, both *Betula pendula* and *Betula pubescens*. There seems to be no difference in the resistance of these two species.

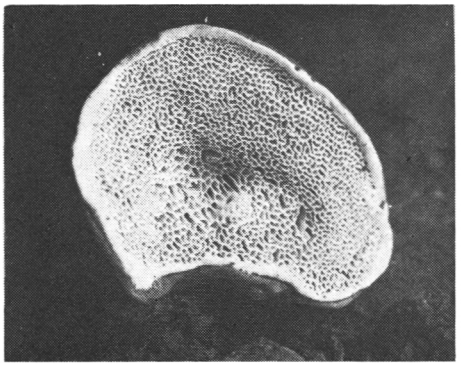


Fig. 14. *Heterobasidion annosum*. Small sporophore on *Alnus incana*. (× 2)
Kuva 14. Heterobasidion annosum. Pieni itiöemä harmaalepässä. (× 2)

Locally, e.g. at Mäntyharju, the disease has been observed in birches growing in birch or spruce stands, but the majority is reported from birches growing in pine stands on sites affected by *Heterobasidion annosum*.

It is often difficult to demonstrate *Heterobasidion annosum* in the birch with certainty, since birches carry several decay fungi (e.g. *Fomes fomentarius* (L.) Gill., *Inonotus obliquus* (Pers.) Pil., *Phellinus igniarius* coll., and others), which are also seen simultaneously with *Heterobasidion annosum*.

In Finland birch has been considered resistant to *Heterobasidion annosum*. It has, for instance, been recommended for the reforestation of spruce stands suffering from this fungus (K a n g a s 1940, 1954).

Earlier data on *Heterobasidion annosum* found on birch in Finland are based on a few herbarium specimens, usually taken from birch stumps.

The map of Fig. 13 shows the data, verified by sporophore finds or fungal cultures, on the distribution in birch of *Heterobasidion annosum* in Finland. The fungus has been found locally in the region of South Finland, especially in the surroundings of Lake Saimaa, and South Häme. The reports are most numerous for regions where the fungus has also been found in the pine. The boundary line for observations in South Finland runs through Parkano—Jyväskylä—Kuopio. The incidence seems to be highest among birch trees growing as admixed species in pine stands. In other kinds of stands the fungus does not seem particularly harmful to birch.

Birch trees affected by *Heterobasidion annosum* have often, at the same time, shown injuries caused by *Trypodendron signatum* Fabr. (Col., Ipidae). This insect hibernates in the butt of birches (N u o r t e v a 1962) and inhabits spots decayed e.g. by *Heterobasidion annosum*. From these spots it may move to healthy birch trees growing in the neighbourhood and infect them (N u o r t e v a & L a i n e 1968).

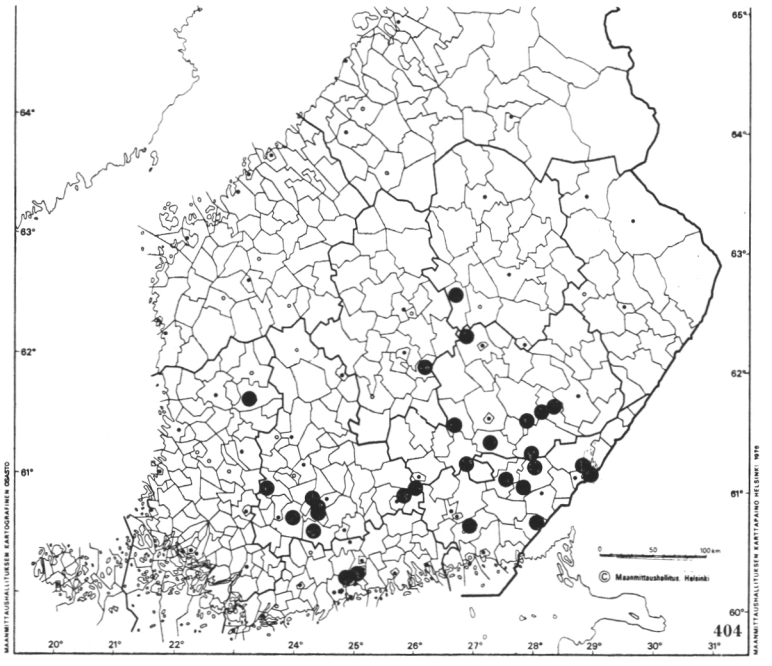


Fig. 15. The distribution of *Heterobasidion annosum* on *Alnus incana* in Finland (verified by sporophore finds or fungal cultures).

Kuva 15. Juurikäävän levinneisyys hormaalepällä Suomessa. Itiöemälöydöin tai sieniviljelyin tarkistetut tiedot.

352. *Alnus incana* (L.) Moench

Uusimaa. Tuusula, Ruotsinkylä. Vantaa, Hämeenkylä (sporophores on the underside of a fallen trunk).

South Karelia. Anjalankoski, Kelkka. Ylämaa, Villala.

Satakunta. Ikaalinen, Myllykarttu.

South Häme. Hattula, Vuohiniemi, Renkajärvi. Heinola, Nynäs, Loppi, Topeno. Nastola, E of Vierumäki. Renko, Ahoinen; S of Oinaala. Tammela, Lunkaa. Urjala, Nuutajärvi.

South Savo. Hirvensalmi, Ripatti. Joutsa, S of the main main village. Juva, Hamula. Lemi. Luumäki, Risulahti. Mäntyharju, Kinni. Puumala, Kyllölä. Ristiina, Pökkää. Ruokolahti, Salosaari, Kouvola. Savitaipale, Peltoinlahti. Sulkava, Iitlahti; Sairalanmäki. Taipalsaari, Kurhila.

North Häme. Rautalampi, Kerkonkoski (*Korhonen* 1976, HFR). Toivakka, Ruuhimäki.

North Savo. Pieksämäki, Vanaja (*Kurkela* 1966, HFR).

Pustules and small sporophores at the butt of dead and dying trunks. Resupinate sporophores on fallen trunks. Sporophores on *Alnus incana* are usually poorly developed (Fig. 14).

The branches of the trees suffering from *Heterobasidion annosum* die gradually. The crowns become thinner until they finally die and the stems become wizened while still standing. Owing to the root connections between stems, the trees die in

groups. Since the roots and the butts of the stems are decayed, the diseased stems can often be pulled out of the ground by hand, but not so easily as the junipers that have died of the same disease.

Actinomycetic strains antagonistic to *Heterobasidion annosum* have been isolated in Finland from the nitrogen-producing root pustules characteristic of the alder and from the surrounding soil (S c h a l i n, personal communication). Are these organisms absent in cases where the alder succumbs to the disease?

No previous data on *Heterobasidion annosum* in the alder have been recorded in Finland. All the observations now at hand refer to *Alnus incana*. In Norway, for example, the fungus has been discovered in *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. as well (R o l l - H a n s e n 1940). The majority of the observations concerning the grey alder derive from the regions where the fungus has been found in pine, and often from the same stands. Occasionally the fungus has been found in pure alder stands. Reports have been received sporadically from South Finland (Fig. 15), the northernmost from Rautalampi (62° 45′ N). Many other fungal species, especially *Inonotus radiatus* (Sow.) Karst. are more important than *Heterobasidion annosum* as alder pathogens.

36. Rosaceae

361. *Sorbus aucuparia* L.

Varsinais-Suomi. Vihti, Herrakunta.
Uusimaa. Espoo, Bodom (a fallen trunk).
South Häme. Hartola (*Saarnijoki* 1967, HFR). Iitti, Tillola.
South Savo. Joutseno, main village (sporophores in a tree with recently withered leavage). Ristiina, Pökkää. Valkeala, Vuohijärvi.
North Häme. Rautalampi, Kerkonkoski (*Korhonen* 1976, HFR).

Small sporophores and pustules at the butt of dying and dead stems. In the diseased trees the leaves wither, turn brown and fall to ground. The butts of the stems and the roots are decayed, and finally the whole stem dies, still standing. Stems interconnected by roots often die in groups.

The fungus is rare in the rowan in Finland (Fig. 16).

37. Ericaceae

371. *Calluna vulgaris* (L.) Hull

Varsinais-Suomi. Lohja, Kirkniemi. Vihti, Kotkaniemi.
Uusimaa. Tuusula, Ruotsinkylä (among others, a sporophore 5 × 2 cm).
South Karelia. Virolahti, Kurkela (*Kurkela* 1968, HFR).
South Häme. Loppi, Topeno.
South Savo. Puumala, Kyllölä. Rautjärvi, Untamo. Ruokolahti, Salosaari. Sulkava, Sairalanmäki. Taipalsaari, Vitsai.

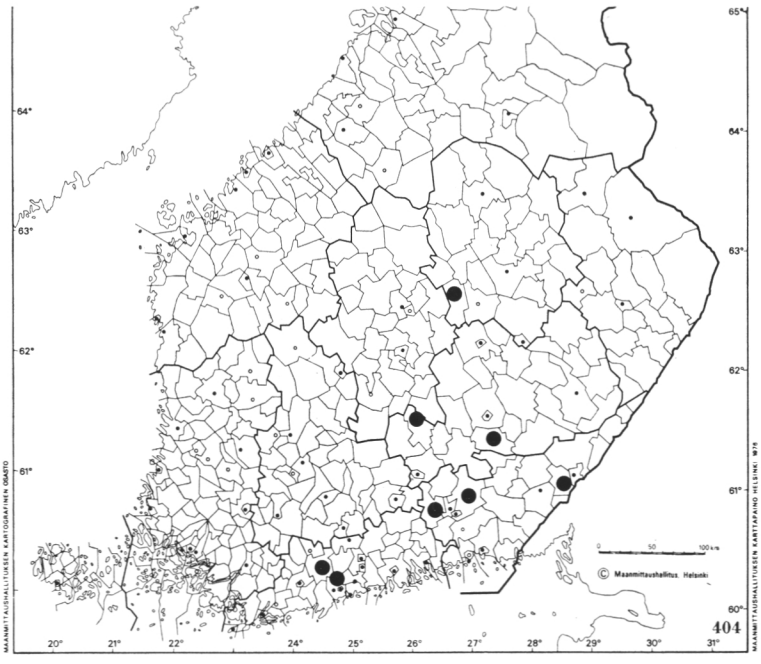


Fig. 16. The distribution of *Heterobasidion annosum* on *Sorbus aucuparia* in Finland (verified by sporophore finds or fungal cultures).

Kuva 16. Juurikäävän levinneisyys pihlajalla Suomessa (itiöemälöydöin tai sieniviljelyin tarkistetut tiedot).

Pustules and small sporophores in dying and dead shrubs. The sporophores are often difficult to discover.

The heather (*Calluna vulgaris* (L.) Hull) often dies where *Heterobasidion annosum* has infected pines in the neighbourhood, especially on very dry heaths. The parts of the stalks that are under the cover of moss are decayed. It seems that the fungus may be more common in heather than is indicated by the observations to date, since often there is no heather left in the pine stands infected by *Heterobasidion annosum*, although it may be common and abundant in the immediate vicinity.

No previous data on *Heterobasidion annosum* in the heather have been recorded in Finland. It is relatively infrequent in this host, in the southern parts of the country south of 62 °N (Fig. 17).

372. *Vaccinium vitis-idaea* L.

South Häme. Asikkala, Vesivehmaa, Vehko. Padasjoki, Maakeski.

South Savo. Kerimäki (from a living plant). Lemi, Ahtiala. Puumala, Kyllölä. Savitaipale, Peltoinlahti. Valkeala, Utti.

North Karelia. Ilomantsi, Möhkö.

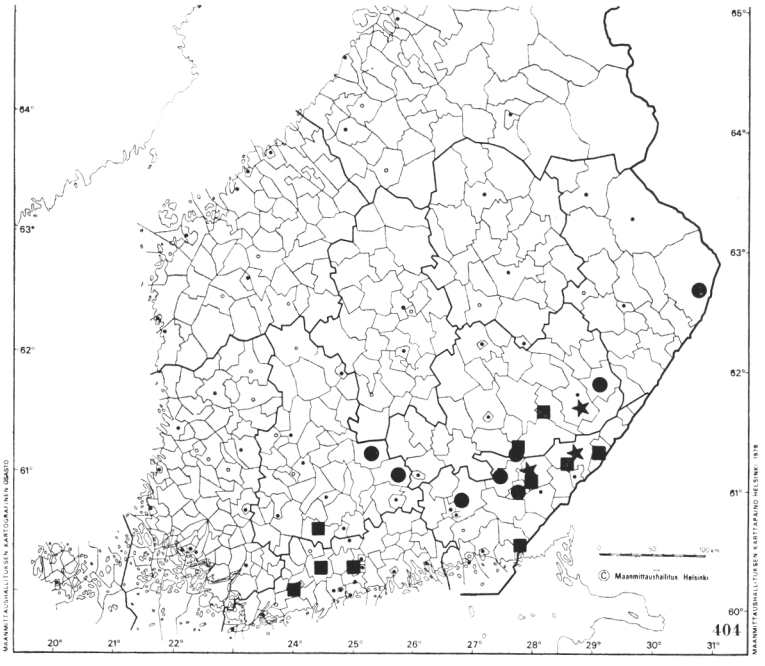


Fig. 17. The distribution of *Heterobasidion annosum* on *Ericaceae* in Finland (verified by sporophore finds or fungal cultures).

Kuva 17. Juurikäävän levinneisyys Ericaceae-varvuilla Suomessa (itiöemälöydöin tai sieniviljelyin tarkistetut tiedot).

■ *Calluna vulgaris*, kanerva. ● *Vaccinium vitis-idaea*, puolukka; ★ *V. myrtillus*, mustikka.

Small sporophores and pustules on stunted and dead *Vaccinium vitis-idaea* shrubs. Found especially on sites where the fungus is present in pine also. Uncommon. Most observations derive from Southeast Finland (Fig. 17).

373. *Vaccinium myrtillus* L.

South Savo. Ruokolahti, north of Inkilänsaari (*Poutanen* 1964, HFR). Sääminki, 2.5 km north of Pellossalo. Taipalsaari, 1 km from the Savitaipale boundary along the Savitaipale road.

Pustules and small sporophores on *Vaccinium myrtillus* shrubs. In the neighbourhood of pine trees affected with *Heterobasidion annosum* the plant occasionally dies. The fungus is uncommon in this species (Fig. 17).

Heterobasidion annosum has not previously been reported as causing the death of *Ericaceae* shrubs in Finland. It seems that the infection of shrubs, especially on the diseased sites in pine stands, is even more common than the above finds would

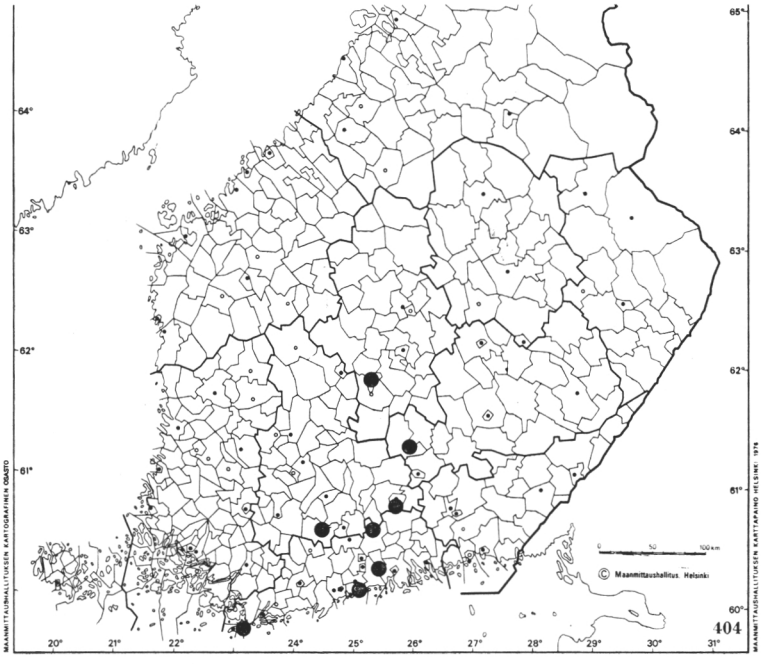


Fig. 18. The distribution of *Heterobasidion annosum* in wooden structures (verified by sporophore finds) in Finland.

Kuva 18. Juurikäävän levinneisyys puurakenteissa Suomessa (itiöemälöydöt).

suggest. It has proved extremely difficult to demonstrate the fungus from dead and withered shrubs.

Shrubs that grow in the neighbourhood of diseased pines, junipers etc., are often permanently encircled by sporophores of *Heterobasidion annosum*. Under these circumstances it might be assumed that they would easily become infected, but this is by no means always the case.

38. Heterobasidion annosum in wooden structures

Uusimaa. Helsinki, Puotila, potato cellar (*Bärlund* 1943, H). Mäntsälä, Hirvihaara, beam of a barn. Pornainen, Vermijärvi, building timber lying on the ground. Tammisaari, Tvärminne, a log among the remains of a shed (*Malmström* 1937, H).

South Häme. Jämsänkoski, butt log of pine which was the supporting beam of the roof of potato shed (*Koskinen* 1938, HFR). Lahti, Okeroinen, cellar beam (*Rintanen* 1962, HFR). Loppi, Sajaniemi, roof beams of a potato shed (*Listo* 1921, H). Sysmä, Nuoramoinen, potato cellar, in pine wood (*Wallén* 1951, VTT).

Sporophores found on the surface of decaying wood structures, often those in contact with the soil, are mainly resupinate and frequently quite large.

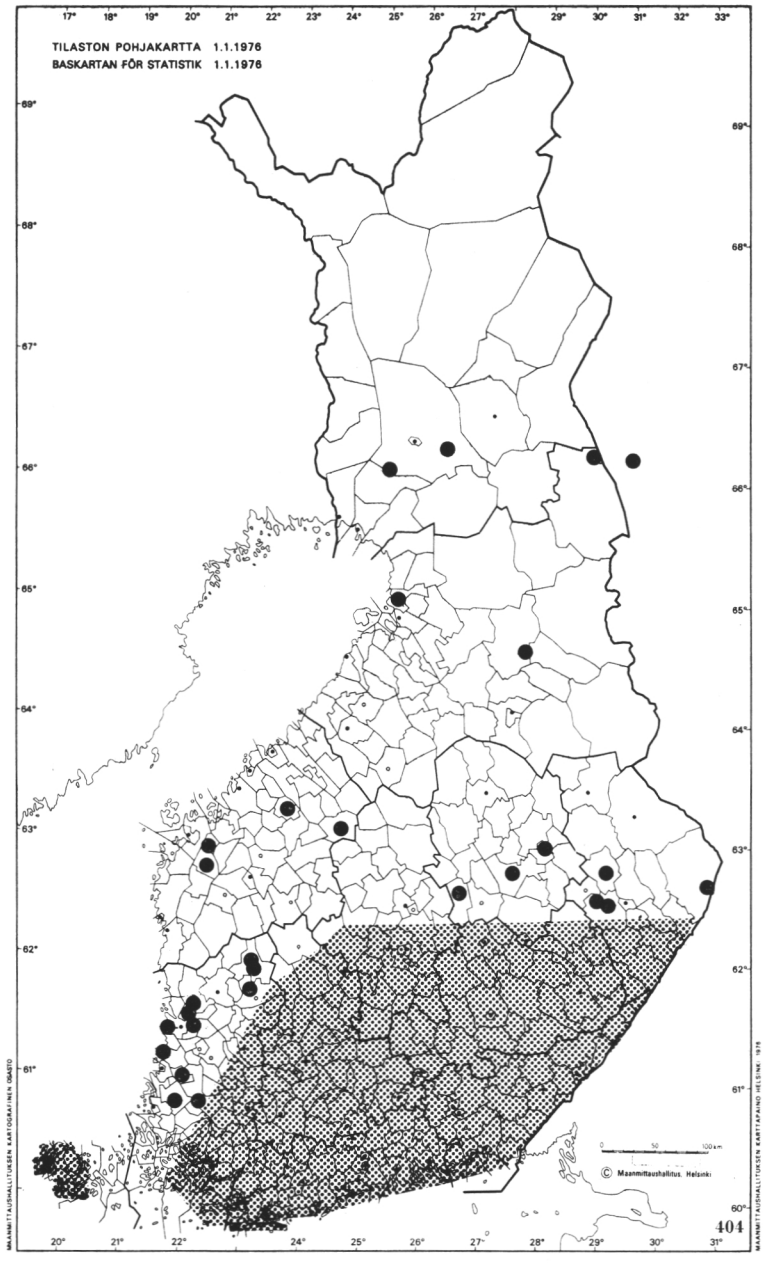


Fig. 19. The distribution of *Heterobasidion annosum* in Finland (verified by sporophore finds or fungal cultures).

Kuva 19. Juurikäävän levinneisyys Suomessa (itiöemälöydöin tai sieniviljelyin tarkistetut tiedot).

In Finland *Heterobasidion annosum* has sometimes been found in the wooden structures of potato sheds, the timber of barns and other places where the building timber, lying on or in constant contact with the ground, remains moist. This mode of occurrence differs little from the saprophytic occurrence of the fungus in round-wood stored in the forest, on decayed trunks lying on the ground, in stumps, etc. The herbarium specimens occasionally specify pine as the growth substrate. Usually the host must be spruce.

Heterobasidion annosum as a decaying agent in wooden structures seems infrequent in Finland. Observations have only been recorded from Uusimaa and Häme (Fig. 18). Many other fungal species are more important decaying agents in wooden contructions on the outside of a building and in building timber (e.g. S u o l a h t i 1961). This saprophytic mode of occurrence is characteristic of the ability of *Heterobasidion annosum* to adapt itself to different conditions. The fungus has long been known e.g. in Central Europe as a cause of decay in the wooden structures in mines (B o u r d o t & G a l z i n 1927).

39. Total distribution in Finland

The data on the distribution of *Heterobasidion annosum* in all hosts is presented in the map of Fig. 19.

The observations of the fungus in spruce and pine complement each other. The concentration in the southeastern part of the country, seen in the map on pine (Fig. 10), is considerably less pronounced in this map. Reports of the fungus on pine and on hosts other than spruce are all south of latitude 63 °N. A number of data on spruce appear north of this latitude, up to the Arctic Circle, but those verified by sporophore findings or fungal isolations are so far relatively few. No reports of the fungus north of the Arctic Circle in North Finland have been received so far. It must be either very rare or non-existent in those parts.

4. DISCUSSION

Heterobasidion annosum reaches the northern boundary in the middle boreal zone (A h t i et al. 1968) of its distribution in the territory of Finland (cf. *Commonwealth Mycological Institute* 1968, 1974). The majority of the fungus grows in the southern parts of the country but it has been found, though rarely, near the Arctic Circle.

In *spruce stands* the fungus is most profuse in South Finland and expressly in the coastal regions. It becomes less common inland and towards the north, but has been reported from the region of Rovaniemi. Considerable regional variation is observable in its occurrence.

In pine stands the fungus is seen in the hemiboreal and southern boreal zone (A h t i et al. 1968) over a notably smaller area in the south of the country but it is especially abundant in Southeastern Finland — a new finding revealed by the present study (cf. L a i n e 1964). Few observations have been redorded of the fungus in pine stands of the coastal regions. In pine stands, especially, the fungus on an affected site is simultaneously present in many *other* woody plants, as well.

What are the factors responsible for the differences in the occurrence of *Heterobasidion annosum* in the areas of distribution in different hosts?

A similar difference in the occurrence in spruce and pine has also been observed in neighbouring countries, Norway and Sweden (e.g. R e n n e r f e l t 1952, R o l l - H a n s e n 1940). The differences in the areas of distribution, also found in Finland, therefore seem to be real, and not a result e.g. of differences in the intensity of research.

The extensive literature on *Heterobasidion annosum* provides no easy answer to the question (e.g. K o e n i g s 1960, I U F R O 1962 & 1970, P a l m b e r g 1969, H o d g e s et al. 1971, N e g r u c k i j 1973). In its ecology, this fungal species has proved to be extremely adaptable to prevailing conditions, as is indicated e.g. by its presence in very numerous host plants. S i n c l a i r (1964) listed no less than over 150 tree, bush and shrub species which hosted the fungus.

In Finland, *burning-over* culture was still of great importance in the early 20th century (e.g. H e i k i n h e i m o 1915). A high degree of similarity can be noted, on comparison, between the map by H e i k i n h e i m o (1915, Fig. 4) of the extent of burning-over culture in Finland in 1913 and the map of the present study (Fig. 10) on the currently known distribution of *Heterobasidion annosum* on pine in Finland. Around Lappeenranta there are areas where no appreciable burning-over was

practised at that time, but despite this the fungus occurs in pine stands. At the time covered by the H e i k i n h e i m o map, burning-over was common north of the area in which the fungus now occurs in pine, especially in East Finland. This means that the northern boundary of the occurrence of the disease does not follow the northern boundary of burning-over but is apparently due to other factors. Both the occurrence of the fungus in pine stands and the spread of burning-over as shown in Heikinheimo's map are concentrated on Southeast Finland. The greater risk of the occurrence of the fungus in pine stands of the former burning-over areas is comparable with the high rate of *Heterobasidion annosum* in stands established on former arable land or on areas free from forest for other reasons, e.g. in Sweden and Central Europe (e.g. R e n n e r f e l t 1952).

Burning-over has affected spruce stands differently from pine stands. *Heterobasidion annosum* is common in spruce stands especially in the coastal regions where burning-over was either not practised at all or only to an extent that was definitely less than in the interior. Such areas have long been occupied by spruce stands. The risk of the occurrence of the fungus is therefore great in spruce stands that have had no contact with burning-over, but also in pine stands that have grown up when burnt-over areas have been reforested.

The northern characteristics of the Finnish *climate* apparently play a part in the distribution picture of the fungus. A study of K o l k k i ' s (1969) map of the effective temperature sum shows that the bulk of the known distribution of *Heterobasidion annosum* in hosts other than spruce is on the warmer side of the effective temperature sum of 1150 units, whereas in spruce the fungus grows even within the temperature sum of 800 units. The highest effective temperature sums in the southeastern parts of the country also fit into the distribution picture of *Heterobasidion annosum* (especially pine stands). The disparity between the occurrence of the fungus infection in spruce and pine may involve a phenomenon that presupposes a demand for different temperature requirements. When growing in pine and the woody plants of a pine stand, the fungus may be more parasitic in character than it is in spruce stands. On the other hand, in regions where *Heterobasidion annosum* was formerly found only in spruce, an increasing number of observations indicate that pine seedlings are also very liable to be attacked by this fungus if they are planted on a site previously occupied by infested spruce stands.

The comparatively low temperatures and low moisture conditions are presumably partly responsible for the formation of *Heterobasidion annosum* sporophores being relatively limited in Finland. Furthermore, they are usually small and hidden from sight. In Denmark and South Sweden, for example, in districts where the relative humidity and precipitation exceed those in Finland, the fungal sporophores, according to the present author's personal observations, are in the main visible and not under cover as in Finland. A contributory factor is the layer of moss and litter composing the floor of Finnish forests, and the protection it provides. In Danish and Swedish conditions such cover does not always exist, the butts of the stems being bare right

down to the ground. In Finland sporophores are formed on sites with good moisture conditions even during a dry season. The need for humidity seems to be corroborated also by the small size and incomplete development of sporophores when the fungus grows on the least fertile sites (*Calluna* and *Vaccinium* types). However, the size of the sporophores does not diminish from south to north in Finland, for fairly large-sized sporophores have been found in the northernmost areas of occurrence, e.g. from the surroundings of Rovaniemi. Spore production also is sensitive to disturbances occasioned by drought: it is weakened or arrested during the driest season in the middle of the summer (cf. Parmasto 1956, Kallio 1970), whereas under conditions in the British Isles, for instance, it continues throughout the year (e.g. Rishbeth 1959).

The effect of the soil and its fertility on *Heterobasidion annosum* has not been sufficiently studied. Infected pine stands, especially, are often growing on dry esker and moraine soils, poor in nutrients. Despite this, an area of distribution e.g. along the Salpausselkä end moraine cannot be demonstrated. In the clay area of East Uusimaa the fungus is common in spruce, but few observations have been made on pine. The fungus apparently does not occur at all in pine growing on peatland and in swamps. Perhaps its mycelium fails to obtain enough oxygen on such sites, and this accounts for its absence. Hintikka (1974) pointed out that the honey fungus (*Armillariella mellea*) was almost completely absent from swampy sites. In spruce, *Heterobasidion annosum* has been found on wet peat-moors or at least in the marginal forests. Whether forest drainage, fertilization, etc., will effect a change in the part played by the peatlands, as regards *Heterobasidion annosum*, is not yet known.

In Sweden and e.g. Central Europe *Heterobasidion annosum* is considered to favour limestone districts (e.g. Rennerfelt 1946, in Sweden the species is even called the limestone fungus; Kramer 1966). The areas of limestone in Finland are small and rather uncommon but here, too, the fungus occurs in the limestone districts, e.g. in Ahvenanmaa and the surroundings of Lohja, and its northernmost growths were seen on fertile alkaline sites (Eriksson & Strid 1969).

The distribution picture shows a discrepancy between the different hosts (spruce and pine etc.) that can hardly be explained as being due to different strains of the fungus, at least not for the time being. Admittedly, the genetics of the fungus are incompletely known. The morphological variants described (Bourdot & Galzin 1927) mainly seem to represent modifications induced by different growth site conditions. The variety with the most unusual appearance seems to be the Indian var. *indicus*, which is described as having sporophores with considerably smaller pores than the main form (Reid et al. 1959). Considerable variation occurs between *Heterobasidion annosum* cultures e.g. in the rate of growth etc. (cf. e.g. Laine & Nuorteva 1970), but no sharp differences can be assumed to exist between Finnish strains. A parallel observation has already been reported in the literature (e.g. Roll-Hansen 1940, Etheridge 1955). If strains or other taxa of this fungus linked with host plants could be shown under Finnish conditions, they might be expected

to fall into groups such as those present in spruce and those present in pine stands (pine, juniper, birch, alder, etc.).

Tree species and races differ in their resistance to *Heterobasidion annosum*. Some species, moreover, are more resistant while they are young than in old age, etc. (cf. Ferdinandsen & Jørgensen 1938—1939). It is possible that the pines in the north of Finland are somehow more resistant than those in the south. Culture tests have been carried out with pines of several provenances growing side by side. They seem to suggest that provenances from districts where the fungus is common in pine have in these tests proved to be susceptible to *Heterobasidion annosum* (certain sample plots of the Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Tree Breeding), while the local provenances or those originating outside the »risk area» have remained intact. This observation might be of considerable practical importance in selecting the provenance of culture material, and there is every reason to study the problem in more detail.

On affected sites in pine forests there are individual pines which seem resistant to the disease. Some of course are only seemingly resistant and are infected later, but others apparently are genetically of more resistant material. It would be worth making an effort to find them, especially as artificial regeneration is widely used when clear-cut areas are reforested with pine. In any case, the resistance of used culture material to *Heterobasidion annosum* should be tested before use. Negruckij (1973) draws attention to the presence of individual resistant pines on the affected sites in pine stands. He stresses that the natural seedlings growing on the affected sites should be carefully protected and used to regenerate the stand, rather than that plant seedling material should be brought from elsewhere since such material, according to him, is susceptible to the decay. His argument is that, on the affected sites, natural selection eliminates the individuals sensitive to the disease while only the most resistant survive.

In fact it seems less difficult to create a pine material that is disease-resistant than e.g. a spruce material. One probable reason for the variations in the resistance of pine trees has been found to lie in the pine resin excretion, and the different structural components contained in the resin. Special attention has been given to the relative levels of the $\triangle^3$-carene and α-pinene contents and to the observation that if the former is high and, at the same time, the latter is low the trees seem to be more resistant to the disease (Juvonen 1966, Negruckij 1973).

Although *Heterobasidion annosum* occurs in very many circumstances and grows on many hosts, it still has to compete for living space with numerous rival organisms, such as fungi, bacteria, etc. There are numerous organisms antagonistic to it (e.g., Björkman 1942, Käärik & Rennerfelt 1957, Low & Gladman 1960, Klingström & Beyer 1965, Hyppel 1968a, b, Laine & Nuorteva 1970). The presence and role of the antagonists vary according to prevailing conditions. The antagonistic organisms have often been found to be absent from plantations established on former arable land, and similarly from limestone districts.

The use of antagonists in the biological control of *Heterobasidion annosum* has also been successfully initiated (Rishbeth 1950, 1951a, b, 1959, 1967, Palmberg 1969, Kallio 1971a).

Insect species and other animals, in addition to the damage they frequently cause or augment, may at the same time contribute towards the spreading of *Heterobasidion annosum*, especially in pine trees (e.g. Nuorteva & Laine 1968, Nuorteva 1965, Laiho 1966).

There is generally very little *Heterobasidion annosum* in untouched natural forests. With the intensification of forest management and human activity in general, this fungus has become a steadily increasing source of danger. Summer-time logging, e.g. preparation of special assortments in the forest during summer (such as Egyptian rafters and poles for electric lines hewn in the pine stands, see Nuorteva & Laine 1968), have increased the potential dissemination of the fungus and accordingly the destruction it causes in the forest. The increasingly wide spread and year-round use of forest machinery of all kinds is an especially great hazard since the resulting damage to the root systems and stems of growing trees increases the susceptibility to decay.

In order to control *Heterobasidion annosum* it would be advisable to accept mixed stands, and to establish new mixed stands in preference to stands composed of trees that are all of the same age and species (e.g. Negruckij 1973). A change of the tree species has also been recommended as a means of control. The potential effectiveness of this measure depends on the local conditions. In Finland, especially in the southern and central parts of the country, the effectiveness of planting pine on the former site of spruce stands infected by *Heterobasidion annosum* seems to be uncertain, particularly if the planted material's resistance to the disease has not been tested in advance.

SUMMARY

The occurrence of *Heterobasidion annosum* in different woody hosts was studied mainly in the field in Finland.

The fungus was previously known as a serious pathogen in Norway spruce in Finland. It was only occasionally found from other hosts than spruce.

Especially in Southeast Finland the fungus was observed to be a serious pathogen to the pine. In the infected pine stands the fungus occurred also in many other woodys host than the pine, e.g. in *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Alnus incana* and *Juniperus communis*. It was observed also in *Populus tremula*, *Sorbus aucuparia* and in some *Ericaceae* shrubs.

The occurrence of the fungus was verified in some plantations of following exotic tree species: *Abies balsamea*, *A. lasiocarpa*, *A. sibirica*, *A. alba*, *Pseudotsuga menziesii*, *Picea glauca*, *P. engelmannii*, *Larix decidua*, *L. sibirica*, *L. gmelinii*, *Pinus contorta* var. *latifolia*, *P. mugo*, *P. cembra* and *Populus tremula* x *tremuloides*.

In charting the distribution of *Heterobasidion annosum* by host, only data of occurrence verified by sporophores or cultures of the mycelia from infected plants were used.

The occurrence of sporophores and the damage caused by the fungus were different from host to host.

The causes of the differencies in distribution areas by host, and some site factors affecting the occurrence of the fungus in the Finnish conditions were discussed.

REFERENCES

Ahti, T., Hämet-Ahti, L. & Jalas, J. 1968. Vegetation zones and their sections in northwestern Europe. Ann. Bot. Fenn. 5, 169—211.

Biraghi, A. 1962. *Fomes annosus* in Italy. IUFRO, Section 24, Conference and study tour on *Fomes annosus*, Scotland, June 1960. Florence.

Björkman, E. 1942. Soil antibiotics acting against the root rot fungus (*Polyporus annosus* Fr.). Physiol. Plant. 2, 1—10.

Bourdot, H. & Galzin, A. 1927. *Hyménomycètes* de France. *Hétérobasidiés — Homobasidiés gymnocarpes*. 762 pp. Sceaux.

Commonwealth Mycological Institute 1968. Distribution Maps of Plant Diseases. Map No. 271. (Ed. 2.) *Fomes annosus* (Fr.) Cooke.

—»— 1974. Distribution Maps of Plant Diseases. Numerical index and all additions and corrections to maps nos. 1—503 to 1. X. 1974.

Eriksson, J. 1958. Studies in the *Heterobasidiomycetes* and *Homobasidiomycetes — Aphyllophorales* of Muddus National Park in North Sweden. Symb. Bot. Upsal. 16, 1. 1—172.

—»— & Strid, Å. 1969. Studies in the *Aphyllophorales* (*Basidiomycetes*) of northern Finland with a preliminary report on the distribution of some northern species in Fennoscandia. Ann. Univ. Turku. A II, 40 (Rep. Kevo Subarctic Sta. 4.), 312—158.

Etheridge, D. E. 1955. Comparative studies of North American and European cultures of the root rot fungus, *Fomes annosus* (Fr.) Cooke. Can. J. Bot. 33, 416—425.

Ferdinandsen, C. & Jørgensen, C. A. 1938—1939. Skovtraeernes sygdomme. 570 pp. Copenhagen.

Hadfield, J. S. 1970. Color infrared photography effectively detects pines killed by *Fomes annosus*. Proceedings of the Third International Conference on *Fomes annosus*, Aarhus, Denmark, July 29—Aug. 3, 1968. IUFRO, Section 24. USDA, Forest Serv. Washington D. C., 37—42.

Hanson, J. B. & Lautz, W. 1971. Photography as an aid in estimating *annosus* root rot -caused tree mortality. Plant Dis. Reptr. 55, 761—763.

Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. (Referat: Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands.) Acta For. Fenn. 4.2, 1—264, 1—149, 1—59.

—»— 1920. Suomen lumituhoalueet ja niiden metsät. (Referat: Die Schneeschadengebiete in Finnland und ihre Wälder.) Comm. Inst. Quaest. For. Fenn. 2.3, 1—134, 1—17.

—»— 1956. Tuloksia ulkomaisten puulajien viljelystä Suomessa. (Referat: Ergebnisse von einigen Anbauversuchen mit fremdländischen Holzarten in Finnland.) Comm. Inst. For. Fenn. 46.3, 1—129.

Hintikka, V. 1964. Psychrophilic *Basidiomycetes* decomposing forest litter under winter conditions Comm. Inst. For. Fenn. 59.2, 1—20.

—»— 1974. Notes on the ecology of *Armillariella mellea* in Finland. Karstenia 14, 12—31.

—»— & Laine, L. 1968. Notes on the detection of different types of decay in wood. Comm. Inst. For. Fenn. 70.1, 1—17.

Hodges, C. S. Jr., Koenigs, J. W., Kuhlman, E. G. & Ross, E. W. 1971. *Fomes annosus:* A bibliography with subject index — 1960—1970. USDA, Forest Serv. Res. Pap. SE-84. 1—75.

Holmgren, P. K. & Keuken, W. 1974. Index herbariorum. I. The herbaria of the world. 6th ed. Regnum Vegetabile 92, 1—397.

Hyppel, A. 1968a. Antagonistic effects of some soil fungi on *Fomes annosus* in laboratory experiments. Studia For. Suec. 64, 1—18.

—»— 1968b. Effect of *Fomes annosus* on seedlings of *Picea abies* in the presence of *Boletus bovinus*. Studia For. Suec. 66, 1—16.

IUFRO, Section 24, 1962. Conference and study tour on *Fomes annosus*, Scotland, June 1960. 151 pp. Florence.

IUFRO, Section 24. 1970. Proceedings of the Third International Conference on *Fomes annosus*. Aarhus, Denmark, July 29—August 3, 1968. USDA, Forest Serv. Washington D. C. 208 pp.

Jalas, J. & Suominen, J. (ed.) 1973. Atlas Florae Europaeae. 2. Distribution of vascular plants in Europe. 2. *Gymnospermae* (*Pinaceae* to *Ephedraceae*). The Committee for Mapping the Flora of Europe and Societas Biologica Fennica Vanamo. 40 pp.. Helsinki.

Juutinen, P. 1958. Tutkimuksia metsätuhojen, etenkin hyönteisvaurioiden merkityksestä Pohjois-Suomen kuusikoissa. (Referat: Untersuchungen über die Bedeutung der Waldverheerungen, insbesondere der Insektenschädigungen, in den Fichtenbeständen Nordfinnlands.) Comm. Inst. For. Fenn. 50.1, 1—92.

—»— 1962. Tutkimuksia metsätuhojen esiintymisestä männyn ja kuusen viljelytaimistoissa. (Referat: Untersuchungen über das Auftreten von Waldschäden in den Kiefern- und Fichtenkulturen Südfinnlands.) Comm. Inst. For. Fenn. 54.5, 1—80.

Juvonen, S. 1966. Über die die Terpenbiosynthese beeinflussenden Faktoren in *Pinus silvestris* L. Acta Bot. Fenn. 71, 1—92.

Käärik, A. 1965. The identification of the mycelia of wood-decay fungi by their oxydation reactions with phenolic compounds. Studia For. Suec. 31, 1—81.

—»— & Rennerfelt, E. 1957. Investigations of the fungal flora of spruce and pine stumps. Medd. Stat. Skogsforskningsanstalt 47.7, 1—88 pp.

Kallio, T. 1961. Missä on eniten maannousemaa? Metsätal. Aikakauslehti 78, 145—147.

—»— 1965. Tutkimuksia maannousemasienen leviämisbiologiasta ja torjuntamahdollisuuksista Suomessa. (Summary: Studies on the biology of distribution and possibilities to control *Fomes annosus* in Southern Finland.) Acta For. Fenn. 78.3, 1—21.

—»— 1967. Havaintoja maannousemasienestä keväällä 1967. (Summary: Observations of *Fomes annosus* in spring 1967.) Metsätal. Aikakauslehti 84, 228—230, 234.

—»— 1970. Aerial distribution of the root-rot fungus *Fomes annosus* (Fr). Cooke in Finland. Acta For. Fenn. 107, 1—55.

—»— 1971 a. Protection of spruce stumps against *Fomes annosus* (Fr.) Cooke by some wood-inhabiting fungi. Acta For. Fenn. 117. 1—20.

—»— 1971 b. Incidence of the condiophores of *Fomes annosus* (Fr.) Cooke on the logging waste of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Acta For. Fenn. 124. 1—9.

—»— & Norokorpi, Y. 1972. Kuusikon tyvilahoisuus. (Summary: Butt rot in a spruce stand.) Silva Fennica 6, 39—51.

—»— Tamminen, P. 1974. Decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the Åland Islands. Acta For. Fenn. 138, 1—42.

Kangas, E. 1940. Maannousema kuusikoittemme metsänhoidollisena kysymyksenä. Metsätal. Aikakauslehti 57, 129—134.

—»— 1952. Maannousemasienen (*Polyporus annosus* Fr) esiintymisestä, tartunnasta ja tuhoista Suomessa. (Referat: Über Auftreten, Infektion und Schäden des Wurzelschwamms (*Polyporus annosus* Fr.) in Finnland.) Comm. Inst. For. Fenn. 40.33, 1—34.

Kangas, E. 1954. Maannouseman esiintymisestä metsissämme. Metsätal. Aikakauslehti 71, 175—177.

Karsten, P. A. 1880. Symbolae ad mycologiam Fennicam. Pars VI. Medd. Soc. Fauna Flora Fenn. 5, 15—51.

—»— 1882. Rysslands, Finlands och den Skandinaviska Halföns Hattsvampar. Sednare Delen: Pip-, Tagg-, Hud-, Klubb- och Gelésvampar. Bidr. t. känn. Finl. Nat. o. Folk 37, I—XIX + 1—257.

—»— 1903. Kritisk Öfversigt af Finlands Basidsvampar. Tillägg III. Bidr. t. känn. Finl. Nat. o. Folk 62, 65—100.

Klingström, A. & Beyer, L. 1965. Two new species of *Scytalidium* with antagonistic properties to *Fomes annosus* (Fr.) Cke. Svensk Bot. Tidskr. 59, 30—46.

Koenigs, J. W. 1960. *Fomes annosus*: A bibliography with subject index. USDA, Forest Serv., Southern Forest Exp. Sta., Occasional Paper 181, 1—35.

Kolkki, O. 1969. Katsaus Suomen ilmastoon. Ilmatieteen laitoksen tiedonantoja 18, 1—64.

Kramer, W. 1966. Kalkung und Rotfäule der Fichte. Aus dem Walde 12, 45—55.

Kuhlman, E. G. & Hendrix, F. F. Jr. 1962. A selective medium for the isolation of *Fomes annosus*. Phytopathology 52, 1310—1314.

Kujala, V. 1948. Murrayn mäntyä uhkaavista tuhosienistä. Metsätal. Aikakauslehti 65, 42—44.

Laiho, O. 1966. Männiköt ja maannousema. (Summary: Scotch pine stands and *Fomes annosus*.) Metsätal. Aikakauslehti 83, 378—380, 384.

Laine, L. 1964. Maannousemasienen (*Fomitopsis annosa*) aiheuttamista tuhoista Saimaan ympäristön männiköissä. (Summary: On the damage done by the root-rot fungus, *Fomitopsis annosa*, to Scots pine stands in the surroundings of Lake Saimaa in Southeast Finland.) Metsätal. Aikakauslehti 81, 284—287.

—»— 1968 a. Notes on the polypores (*Polyporaceae*) of Ahvenanmaa. Karstenia 8, 14—20.

—»— 1968 b. Uusi tuholainen uhkaa männiköitä. Punalatikkaa tullut Etelä-Suomeen. Metsälehti 1968: 25, 1, 6.

—»— 1968 c. On the damage done by the root-rot fungus (*Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst., particularly to Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in Finland. Proceedings of the Sixth World Forestry Congress, Madrid 1966. II, 1980—1981. Madrid.

—»— 1971. Punalatikka aiheuttaa tuhoja nuorissa männiköissä. Metsä ja Puu 1971: 4, 15—16.

—»— & Nuorteva, M. 1970. Über die antagonistische Einwirkung der insektenpathogenen Pilze *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. und *B. tenella* (Delacr.) Siem. auf den Wurzelschwamm (*Fomes annosus* (Fr.) Cooke). Acta For. Fenn. 111, 1—15.

Lakari, O. J. 1920. Tutkimuksia kuusen ja männyn kasvusuhteista Pohjois-Suomen paksusammaltyypillä. (Referat: Untersuchungen über die Zuwachsverhältnisse der Fichte und Kiefer auf dem Dickhumustypen in Nord-Finnland.) Comm. Inst. Quaest. Forest. Fenn. 2.1.

Low, J. D. & Gladman, R. J. 1960. *Fomes annosus* in Great Britain. For. Comm. For. Record 41, 1—22.

Mikola, P. 1955. Metsämaan kantasienien puhdasviljely. (Summary: Growing forest soil *Basidiomycetes* in pure culture.) Karstenia 3, 5—16.

Negruckij, S. F. 1973. Kornevaja gubka. 199 pp. Lesnaja Promyst'lennost. Moscow.

Niemelä, T. 1974. On Fennoscandian polypores. III. *Phellinus tremulae* (Bond.) Bond. & Borisov. Ann. Bot. Fenn. 11, 202—215.

Nuorteva, M. 1962. Beobachtungen über das Überwintern einiger Borkenkäfer im Wurzelhals der Bäume. Ann. Ent. Fenn. 28, 43—45.

—»— 1965. Maannousemaa männyllä Etelä-Hämeessäkin. Metsätal. Aikakauslehti 82, 356.

—»— & Laine, L. 1968. Über die Möglichkeiten der Insekten als Überträger des Wurzelschwamms (*Fomes annosus* (Fr.) Cooke). Ann. Ent. Fenn. 34, 113—135.

—»— & Laine, L. 1972. Lebensfähige Diasporen des Wurzelschwamms (*Fomes annosus* (Fr.) Cooke) in den Exkrementen von *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae). Ann. Ent. Fenn. 38, 119—121.

Palmberg, C. 1969. Maannousemasieni yleismaailmallisena ongelmana. (Summary: *Fomes annosus* (Fr.) Cke. — A universal problem. A review in recent literature.) Silva Fennica 3, 33—49.

Parmasto, E. 1956. Juurepessu (*Fomitopsis annosa*) bioloogiast. Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetused V. Biol. Ser. 3, 256—261.

Reid, D. A., Thind, K. S. & Charath, M. S. 1959. The *Polyporaceae* of the Missorie Hills (India). IV. Trans. Brit. Mycol. Soc. 42, 40—44.

Rennerfelt, E. 1946. Om rotrötan (*Polyporus annosus* Fr.) i Sverige. (Referat: Über die Wurzelfäule (*Polyporus annosus* Fr.) in Schweden.) Medd. Stat. Skogsforskningsinst. 35.8, 1—88.

—»— 1952. Om angrepp av rotröta på tall. (Summary: On root-rot attacks on Scots pine.) Medd. Stat. Skogsforskningsinst. 41.9. 1—40.

Rishbeth, J. 1950. Observations on the biology of *Fomes annosus*, with particular reference to East Anglian pine plantations. The outbreaks of disease and ecological status of the fungus. Ann. Bot. (Lond.) 12, 365—383.

—»— 1951 a. Observations on the biology of *Fomes annosus* with particular reference to East Anglian pine plantations. II. Spore production, stump infection, and saprophytic activity in stumps. Ann. Bot. (Lond.) 15, 1—21.

—»— 1951 b. Observations on the biology of *Fomes annosus*. III. Natural and experimental infection of pines, and some factors affecting severity of the disease. Ann. Bot. (Lond.) 15, 221—246.

—»— 1959. Dispersal of *Fomes annosus* Fr. and *Peniophora gigantea* (Fr.) Massee. Trans. Brit. Mycol. Soc. 42, 242—260.

—»— 1967. Control measures against *Fomes annosus* in Great Britain. XIV IUFRO Congr., Sect. 24. Munich 1967. Bd. V., 299—306.

Roll-Hansen, F. 1940. Undersøkelser over *Polyporus annosus*. Meddel. Norske Skogforsøksvesen 24, 1—100.

—»— 1962. A few words on *Fomes annosus* in Norway. Conference and study tour on *Fomes annosus*, Scotland, June 1960. IUFRO, Sect. 24. Florence.

Saarnijoki, S. 1939. Eräitä paperipuuhakkuiden yhteydessä tehtyjä, kuusen tyvilahoa ja sen yleisyyttä koskevia havaintoja. Metsätal. Aikakauslehti 56, 47—52.

Sinclair, W. A. 1964. Root- and butt-rot of conifers caused by *Fomes annosus*, with special reference to inoculum dispersal and control of the disease in New York. Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Mem. 391, 1—54.

Suolahti, O. 1961. Laho ja sen torjunta. WSOY. Porvoo—Helsinki. 125 pp.

Thesleff, A. 1894. Något om parasitiska och på vedväxter förekommande basidiomyceter. Finska Forstförb. Medd. 11, 105—127.

—»— 1919. Studier öfver basidsvampfloran i sydöstra Finland med hänsyn till dess sammansättning, fysiognomi, fenologi och ekologi. Bidr. t. känn. Finl. Nat. o. Folk 79.1, 1—140.

Tikka, P. S. 1934. Über die Stockfäule der Nadelwälder Suomis (-Finnlands). Acta For. Fenn. 40.12. 1—12.

—»— 1935. Puiden vikanaisuuksista Pohjois-Suomen metsissä. Tilastollis-metsäpatologinen tutkimus. (Referat: Über die Schadhaftigkeit der Bäume in den Wäldern Nord-Suomis (-Finnlands). Eine statistisch-forstpathologische Untersuchung.) Acta For. Fenn. 41, 1—301.

Tutin, T. G., Heywood, V. H. et al. Flora Europaea. I. *Lycopodiaceae* to *Platanaceae*. 1964. 464. — II. *Rosaceae* to *Umbelliferae*. 1968. 455 pp. — III. *Diapensiaceae* to *Myoporaceae*. 1972. 370 pp. Cambridge.

Vaartaja, O. 1950. Maannousemasieni männyn taimien tappajana. Metsätal. Aikakauslehti 67, 361—362.

Weissenberg, K. von 1972. Experiences of lodgepole pine in Finland. Paper presented at the meeting of the Nordic Working Group on Provenance Research and Seed Procurement. Varparanta, Finland, Aug. 15—19, 1972. Suonenjoki (Mimeographed.).

—»— 1975. Pathogens observed on lodgepole pine grown in Finland. Eur. J. For. Path. 5, 309—317.

JUURIKÄÄVÄN (HETEROBASIDION ANNOSUM (FR.) BREF.) ESIINTYMINEN PUUVARTISILLA KASVEILLA SUOMESSA

Juurikäävän (maannousemasieni; *Heterobasidion annosum*) esiintymistä eri isäntäkasveilla Suomessa tutkittiin maastotutkimusten sekä kokoelmanäytteiden ja laboratorioselvitysten avulla.

Juurikääpä tunnettiin Suomessa vaarallisena kuusen tyvilahon aiheuttajana, mutta sen esiintymisestä muilla isäntäkasveilla oli ennestään vain hajahavaintoja.

Maan eteläosissa, varsinkin Kaakkois-Suomessa juurikääpä osoittautui vaaralliseksi männyn tuhosieneksi. Tarkasteltavat tutkimukset keskittyivät männiköihin ja kuusikot jäivät tärkeydestään huolimatta tässä yhteydessä vähäisemmälle huomiolle.

Juurikäävän männyssä aiheuttama tauti oli erilainen kuin kuusessa. Eri ikäiset männyt kuolivat ryhminä, mistä aiheutui jatkuvasti pahenevaa aukkoisuutta. Rungoissa ei esiintynyt sydänlahoa, mikä on tyypillistä juurikäävän esiintyessä kuusessa, sensijaan puiden juuret lahosivat voimakkaasti ja runkojen tyvessä havaittiin tervastumista.

Männiköiden tautikohteissa juurikääpä oli yleinen katajassa, jonka kuolemista voitiin pitää juurikäävän metsikössä esiintymisen osoittajana. Kuolleet, lahojuuriset katajat saattoi helposti kiskoa maasta, jolloin niiden tyvellä yleisesti esiintyvät juurikäävän itiöemät tulivat näkyviin. Männiköiden tautikohteissa kuoli lisäksi hies- ja rauduskoivua, harmaaleppää, joskus pihlajaa ja varpuja (kanerva, puolukka, mustikka) juurikäävän tappamina. Samalla rehevöityivät eräät heinä- ja ruohokasvit (kastikat, *Calamagrostis* spp., sanajalka, *Pteridium aquilinum*).

Juurikääpää havaittiin joskus myös haavalta ja kerran hybridihaavalta.

Ulkomaisilta havupuilta juurikääpä osoitettiin seuraavilta: *Abies balsamea*, *A. lasiocarpa*, *A. sibirica*, *A. alba*, *Pseudotsuga menziesii*, *Picea glauca*, *P. engelmannii*, *Larix decidua*, *L. sibirica*, *L. gmelinii*, *Pinus contorta* var. *latifolia*, *P. mugo* ja *P. cembra*. Voimakkaita tautikohteita tavattiin näistä *Pinus contorta*lla, *Larix sibirica*lla ja *Abies balsamea*lla.

Kun juurikäävän levinneisyyttä kartoitettiin isäntäkasveittain, otettiin huomioon vain ne tiedot, joihin liittyi itiöemähavainto tai joiden osalta sieni oli tarkistettu rihmaston (puhdasviljelmä tms.) perusteella. Kirjallisuustietoihin juurikäävän esiintymisestä ei katsottu voitavan muissa tapauksissa luottaa.

Itiöemien ulkonäkö ja esiintyminen vaihtelivat isäntäkasveittain. Itiöemät olivat yleisesti pieniä ja heikosti kehittyneitä. Kantojen ja maarunkojen alta tavattiin myös isokokoisia kääpiä. Koska itiöemät esiintyivät Suomen oloissa vain erilaisissa kätköpaikoissa (esim. sammalpeitteen suojassa), niitä ei löytynyt, ellei niitä varta vasten kaivellut esiin.

Juurikääpä on Suomessa levinnyt laajimmalle alueelle kuusen osalta. Sientä on kuusella yleisesti maan etelä- ja keskiosissa. Pohjoiseen päin se harvinaistuu, mutta havaintoja on vielä napapiirin tienoilta saakka. Muilta isäntäkasveilta on havaintoja vain Vaasan—Kuopion linjan eteläpuolelta.

Eri isäntäkasveilla juurikäävän esiintymisessä havaittuja eroja ja niiden mahdollisia syitä Suomen oloissa tarkastellaan julkaisun lopussa.

DEVELOPMENT OF DOMINANT TREES IN BETULA PENDULA ROTH AND BETULA PUBESCENS EHRH. PLANTATIONS

JYRKI RAULO

SUOMENKIELINEN SELOSTE

VILJELTYJEN RAUDUS- JA HIESKOIVIKOIDEN VALTAPUIDEN KEHITYS

HELSINKI 1977

ISBN 951-40-0249-0
ISSN 0026-1610

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

FOREWORD

In the 1960's the Finnish Plywood Association provided the Finnish Forest Research Institute, Department of Silviculture, with funds to carry out studies on planting techniques, growing and breeding of *Betula pendula* Roth. The research programme also included the inventory of mature birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) plantations. In presenting my results for the development of the most important parts of the growing stock of mature birch plantations, I would like to express my thanks to the Finnish Plywood Association for the financial support which has made it possible to collect these results.

Professor Paavo K a l l i o, Professor Arne R o u s i, Professor Yrjö V u o k i l a and Dr. Matti L e i k o l a have read the manuscript and given constructive advice and criticism. Translation into English was carried out by John D e r o m e, M.Sc. I express my thanks to all the above-mentioned and also to those members of the Department of Silviculture who have helped me in carrying out the field work, calculations and typing. In particular, I am extremely grateful to Mr. A. J. R o n k a n e n, Forest Director, who played an important part in setting up the studies concerning the growing and breeding of *Betula pendula* at the beginning of the 1960's. I also remember with gratitude the late Professor Risto S a r v a s who provided guidance for this work.

Helsinki, October 30, 1976.

Jyrki Raulo

CONTENTS

1. Introduction 5
2. Material 6
21. Stands and sample plots 6
22. Measurements and data handling 8
3. Results 8
31. Development of *Betula pendula* and *Betula pubescens* 8
32. Development of *Betula pendula* on different types of site 10
4. Discussion 11
5. Literature 13
6. Suomenkielinen seloste 15

1. INTRODUCTION

When looking at the development of the Finnish birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) resources in the light of the results of the National Forest Inventories (e.g. Ilvessalo 1956, 1963, Kuusela 1970), it is evident that the raw-material requirements of the present-day plywood industry can be satisfied for the next 20—30 years mainly by the birch resources formed during the period when shifting agriculture was practised. However, if the raw-material requirements of the plywood industry after the year 2000 are to be satisfied in Finland, then birch cultivation and the possibilities for its natural regeneration must be greatly improved.

The techniques involved in *Betula pendula* cultivation have been studied at the Finnish Forest Research Institute since the beginning of the 1960's. The results from these studies have been used to draw up guidelines for birch cultivation (e.g. Raulo 1973, 1976). In Finland the planting of *Betula pendula* on a significant scale started during the latter half of the 1960's, and during the 1970's a yearly average of 5 million seedlings has been planted. Upto now very few results have been published about the development and production of *Betula pendula* and *Betula pubescens* stands. Kujala (1946) has compared the growth rate of *Betula pendula* and *Betula pubescens* seedlings in a single plantation and Raulo (1962) has presented some results for mature birch plantations.

Results have also been published during the last few years about extensive *Betula pendula* progeny tests set up in Finland for tree breeding purposes (e.g. Raulo 1974, Raulo and Koski 1975). In Sweden, Johnsson (1951, 1967) and Erkén (1972) have also examined the development of *Betula pendula* and *Betula pubescens* plantations using the results of progeny tests, and Hedeman-Gade (1964) has described in detail the development of one mature *Betula pendula* plantation. Wettstein (1954) and Schulenburg (1955) have presented the results of some small provenance tests with *Betula pendula*, carried out in Germany.

In this study the development of the most important parts of the growing stock, as far as the plywood industry is concerned, of mature birch plantations in southern Finland is examined. Owing to the small number of such stands, the study has had to be carried out on rather a limited material.

2. MATERIAL

21. Stands and sample plots

In order to find suitable study material, a number of forest industry enterprises, Regional Forest Boards and the Districts of the National Board of Forestry were contacted. All the pure birch plantations over 20 years old which were growing on old agricultural land and fertile forest sites in southern Finland were included in the study. However, between 1964 and 1965, only 10 such stands were found. Seven of them were situated at Punkaharju Research Station (61°46′ N, 29°23′ E), Finnish Forest Research Institute, two in the former Keski-Häme District of the National Board of Forestry at Kangasala (61°26′ N, 24°08′ E) and one on privately owned land near Porvoo (60°25′ N, 25°44′ E). Six of the stands were *B. pendula* plantations, and four of them *B. pubescens* plantations. Five of the stands had been established on old agricultural land, and five on fertile forest sites. The age of the stands at the measuring date varied from 28 to 40 years. Different types of seedlings had been used in planting, and the planting density in general had been about 3 000 seedlings/ha. Most of the stands were rather small and, apart from one of them, had been thinned a number of times (Table 1 and Figs. 1—2). In all the stands the first thinning had been carried out at rather a late stage.

Table 1. General information about the experimental stands and sample plots.
Taulukko 1. Yleistietoja tutkimusmetsiköistä ja koealoista.

Sample plot No. *Koeala n:o*	Municipality *Kunta*	Tree species *Puulaji*	Growing site *Kasvupaikka*	Stand age, yrs *Metsikön ikä, v*	Type of seedlings planted [2] *Istutuksessa käytetty taimilaji* [2]	Number of seedlings planted per hectare *Istutuksessa käytetty taimimäärä, kpl/ha*	Number of thinnings *Harvennusten lukumäärä, kpl*	Number of stems per hectare at inventory *Runkoluku, kpl/ha mittaushetkellä*	Size of sample plot, m² *Koealan koko, m²*
1	Punkaharju	*Betula pendula*	Old agr. land—*Pelto*	28	1A+1A	3 450	4	511	1 056
2	Kangasala	»	»	31	2A+1A	3 100	3	540	1 000
3	Porvoo	»	»	33	2A+1A	3 100	1	925	2 000
4	Punkaharju	»	OMT [1]	34	2A	3 100	5	540	1 500
5	Punkaharju	»	»	36	2A+1A	3 100	2	751	306
6	Punkaharju	»	»	38	1A+2A+2A	2 500	3	432	672
7	Punkaharju	*Betula pubescens*	Old agr. land—*Pelto*	28	1A+1A	3 450	4	788	900
8	Kangasala	»	»	31	2A+1A	3 100	3	520	1 000
9	Punkaharju	»	OMT [1]	34	2A	3 100	5	758	1 200
10	Punkaharju	»	»	40	1A+2A+2A+2A	3 100	3	484	289

[1]) *Oxalis acetosella* L. — *Vaccinium myrtillus* L. type = *Oxalis* — *Myrtillus* type. (See Cajander 1949).
[2]) (See Raulo and Hinttala 1975).



Figure 1. *B. pendula* stand established on old field at Kangasala municipality. Age of the stand is 31 years. Total number of stems per hectare is 540, of which 240 have a diameter at breast height of over 20 cm. (Photo J. Raulo).

Kuva 1. Pellolle perustettu 31-vuotias rauduskoivikko Kangasalan kunnassa. Runkoja on hehtaarilla kaikkiaan 540 kpl, joista 240:n rinnankorkeusläpimitta ylittää 20 cm. (Valok. J. Raulo).



Figure 2. *B. pendula* stand established on *Oxalis-Myrtillus* site at Punkaharju municipality. Age of the stand is 34 years. Total number of stems per hectare is 540, of which 106 have a diameter at breast height of over 20 cm. (Photo M. Mannelin).

Kuva 2. Käenkaali-mustikkatyypin metsämaalle perustettu 34-vuotias rauduskoivikko Punkaharjun kunnassa. Runkoja on hehtaarilla kaikkiaan 540 kpl, joista 106:n rinnankorkeusläpimitta ylittää 20 cm. (Valok. M. Mannelin).

22. Measurements and data handling

The height and diameter at breast height of all the trees was first measured. The average height and diameter at breast height of the following parts of the growing stock were then calculated: 100 thickest stems/ha, and 400 thickest stems/ha. The height development and diameter growth at heights of 1.3 m and 6.0 m of these parts of the growing stock were determined through stem analyses. From two to six trees which represented both parts of the growing stock were felled on each sample plot. Only those trees were selected for analysis which would have been removed during the next thinning work. Disks were then sawn from these trees at distances along the stem of 0.5, 1.3, 1.5 and 2.0 m, and subsequently every meter right up to the crown. The disks from each tree were then grouped separately and dried. A microscope fitted with a micrometer scale was used to measure the width of the annual rings. These measurements were used to draw figures showing the yearly development of the diameter at breast height. The values given by the figures were then increased or decreased by the same percentage that the diameter at breast height with bark of the analysed trees differed from the average diameter with bark of the corresponding parts of the growing stock. The same procedure was used when determining the earlier development of the diameter at a height of 6.0 m and height of different parts of the growing stock. Since the width of the annual rings of dry disks was measured, the values for the diameter of the trees presented in this study are slightly smaller than the real values for living trees.

Volume tables for standing trees (I l v e s s a l o 1947) were used to calculate the volumes. The average volume of the 100 thickest trees was expressed as the volume under bark of that tree which is the same height as the mean height of the 100 thickest trees/ha, and which has the same diameter at heights of 1.3 m and 6.0 m as the average diameter under bark at heights of 1.3 m and 6.0 m. The average volume of the 400 thickest trees was expressed in the same way. As the volume has been expressed like this, no exact figure for the total volume of the 100 and 400 thickest trees is obtained if the individual volume figures presented in this study are multiplied by 100 or 400.

3. RESULTS

31. Development of *Betula pendula* and *Betula pubescens*

Despite the small number of stands, the study material offers good opportunities for comparing the development of *B. pendula* and *B. pubescens*. There are four pairs of sample plots in the material where both tree species are growing side by side on

Table 2. Some data for 30-year old *B. pendula* and *B. pubescens* stand growing on old agricultural land and *Oxalis-Myrtillus* forest site.

Taulukko 2. Entisellä viljelysmaalla ja käenkaali-mustikkatyypin metsämaalla kasvavien 30-vuotiaiden raudus- ja hieskoivikoiden eräät taksatoriset tunnukset.

Measure *Tunnus*	Number of thickest trees/ha studied *Tutkittujen paksuimpien puiden lukumäärä/ha*	Growing site — *Kasvupaikka*					
		Old agricultural land *Vanha viljelysmaa*			*Oxalis-Myrtillus* site *OMT-metsämaa*		
		Betula pendula	*Betula pubescens*	Difference *Erotus*	*Betula pendula*	*Betula pubescens*	Difference *Erotus*
Height, m	100	21.0	17.4	3.6	19.4	15.4	4.0
Pituus, m	400	20.2	17.0	3.2	18.8	15.4	3.4
D.b.h., cm under bark	100	21.8	17.8	4.0	19.4	16.2	3.2
D 1.3 m, cm kuoretta	400	19.6	16.2	3.4	16.9	14.1	2.8
D 6.0 m, cm under bark	100	18.8	14.0	4.8	15.8	12.6	3.2
D 6.0 m, cm kuoretta	400	16.6	12.6	4.0	14.0	11.2	2.8
Volume without bark, cu.m/tree	100	0.366	0.200	0.166	0.269	0.148	0.121
Kuoreton kuutiomäärä, m^3/puu	400	0.306	0.164	0.142	0.206	0.116	0.090

the same kind of site. Two of these sample plot pairs have been established on fertile agricultural land and the other two on *Oxalis-Myrtillus* type forest sites. The stands were originally planted as comparison plots for these two tree species and attempts have been made to manage them in the same way. Some stand information about 30-year old *B. pendula* and *B. pubescens* plantations growing on *Oxalis-Myrtillus* forest sites and old agricultural land are presented in Table 2. The table is further divided into the different parts of the growing stock studied. When the table was being prepared, the development values for one sample plot pair, which was 28 years old, were converted into values for a corresponding 30-year old stand by extrapolating the height and diameter development curves obtained from the stem analyses.

The height and diameter development of the 100 and 400 thickest trees in a *B. pendula* plantation is clearly more rapid than that in a *B. pubescens* plantation. At the age of 30 years, the height difference of dominant trees is 3—4 m and the difference in the diameters at 1.3 m and 6.0 m, is 3—4 cm. When the volumes are compared, it is apparent that the volume of the plywood material (400 thickest stems/ha) in a 30-year old *B. pubescens* plantation is about half the corresponding volume in *B. pendula* plantations. These values, which depict the difference in the development of *B. pendula* and *B. pubescens* plantations, correspond quite well to those for the development of the dominant trees on a corresponding size in repeatedly thinned naturally regenerated *B. pendula* and *B. pubescens* stands (cf. Koivisto 1957, 1959, 1960).

32. Development of *Betula pendula* on different types of site

The study material included three sample plots established on old agricultural land, and three on *Oxalis-Myrtillus* sites. Some stand information about the different parts of the growing stock of similar aged *B. pendula* stands growing on old fields and *Oxalis-Myrtillus* sites are presented in Table 3.

When the stands grown on different sites are compared with each other, it is apparent that, by the time the stands have reached the age of 30 years, the stands established on old fields are clearly taller than those on *Oxalis-Myrtillus* sites. The difference between the average height of the 100 and 400 thickest trees on different types of sites are 1.9 m and 1.5 m. The difference between the diameter at breast height are 0.5 cm and 1.4 cm, respectively.

The increment series presented in Table 3 also makes it possible to examine the growth rhythm of different parts of the growing stock. The development of the 100 thickest trees is presented in Figs. 3 and 4. The height growth and the increase in diameter at breast height of the 100 thickest trees culminate at rather an early stage in the life of the stands, when they are only about 10 years old. The difference between the culmination point of the height growth and increase in diameter at breast height of the stands growing on old fields and *Oxalis-Myrtillus* sites, respectively, are very small. The initial development of the 100 thickest trees in the former stands is clearly faster than that of the latter. These differences, however, level off as the stands become older.

Table 3. Development of height and under bark diameter at breast height of 100 and 400 thickest trees per hectare in *B. pendula* plantations.

Taulukko 3. Hehtaaria kohti lasketun 100 ja 400 paksuimman puun pituuden ja kuorettoman rinnankorkeusläpimitan kehitys istutetuissa rauduskoivikoissa.

Growing site *Kasvupaikka*	Age of stands, yrs *Metsikön ikä, v*	100 thickest trees *100 paksuinta puuta*		400 thickest trees *400 paksuinta puuta*	
		Mean height, m *Keskipituus, m*	D.b.h., cm *D 1.3 m, cm*	Mean height, m *Keskipituus, m*	D.b.h., cm *D 1.3 m, cm*
	5	2.2	0.6	2.2	0.6
	10	6.8	5.6	6.5	5.1
Old agricultural land	15	11.4	10.9	11.1	9.9
	20	15.3	15.0	14.7	13.7
Pelto	25	18.1	18.4	17.5	16.7
	30	20.6	21.0	19.8	18.9
	5	1.9	0.6	1.8	0.5
Oxalis-Myrtillus forest	10	5.8	4.4	5.7	3.8
site	15	9.6	9.2	9.4	7.8
	20	13.1	13.4	12.8	11.4
Käenkaali-mustikka-tyypin metsämaa	25	16.2	17.1	15.8	14.6
	30	18.7	20.5	18.3	17.5

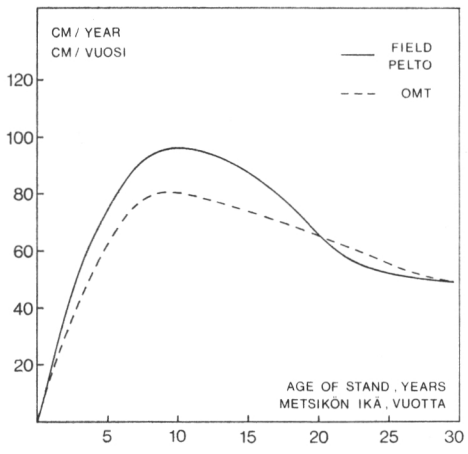


Figure 3. Mean annual height growth of 100 thickest *B. pendula* trees per hectare in plantations established on old field and on *Oxalis-Myrtillus* forest site.

Kuva 3. Hehtaaria kohti lasketun sadan paksuimman rauduskoivun keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu entiselle pellolle ja käenkaali-mustikkatyypin metsämaalle istutetussa metsikössä.

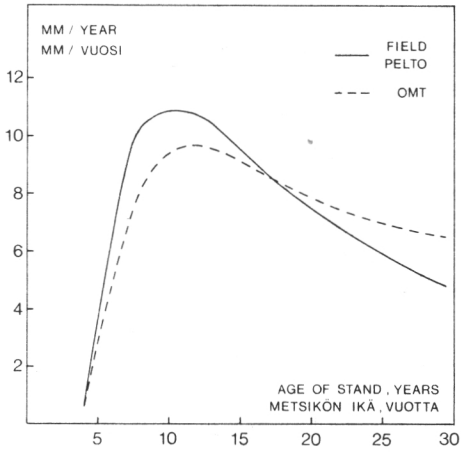


Figure 4. Mean annual diameter growth at breast height of 100 thickest *B. pendula* trees per hectare in plantations established on old field and on *Oxalis-Myrtillus* forest site.

Kuva 4. Hehtaaria kohti lasketun sadan paksuimman rauduskoivun keskimääräinen vuotuinen rinnankorkeusläpimitan kasvu entiselle pellolle ja käenkaali-mustikkatyypin metsämaalle istutetussa metsikössä.

4. DISCUSSION

There is a clear difference in the development of the plywood material of the *B. pendula* and *B. pubescens* plantations included in this study. The volume production of the 400 thickest trees in the 30-year old *B. pendula* plantation is approximately double that of the corresponding production in the *B. pubescens* stand. In addition, it seems likely that this large absolute difference will continue to increase as the stands become older (cf. Sarvas 1949, 1951, Heiskanen 1957, Koivisto 1957, 1959, 1960). Such a large and economically important difference has not been found when the total volume production of repeatedly thinned naturally regenerated *B. pendula* and *B. pubescens* stands has been examined (cf. Koivisto 1957, 1959). The results of the study at hand place these tree species in a more unequal position than before when they are planted or grown on good sites.

The development of the *B. pendula* plantations included in this study has been significantly more rapid than that of repeatedly thinned naturally regenerated birch

stands. The average height of the 100 thickest trees in 20-year old birch plantations growing on *Oxalis-Myrtillus* sites exceeds that of the corresponding part of the growing stock in naturally regenerated birch stands by 1.6 m. At the age of 30 years, the difference has increased to 1.9 m. The differences in the diameter at breast height of the 100 thickest trees are about 3 cm in 20-year old stands and about 5 cm in 30-year old ones, respectively (cf. Koivisto 1957, 1959, 1960). These differences become even more pronounced when the volume of the median tree (height = average height of the 100 thickest trees, d.b.h. = average diameter of the 100 thickest trees) in 30-year old birch plantations and repeatedly thinned but naturally regenerated birch stands are calculated. The volume of the median tree in a birch plantation exceeds that of a repeatedly thinned but naturally regenerated birch stand by about 100 %.

It should be pointed out, however, that most of the naturally regenerated stands have been left for a comparatively long time without any thinning treatment and were very dense for the first thirty years at least. However, growth and yield tables for repeatedly thinned *B. pendula* stands have been drawn up on the basis of the results of measurements carried out in these stands (cf. Koivisto 1959).

It is remarkable to see that the fast initial development of *B. pendula* stands planted on fields, in comparison to those growing on *Oxalis-Myrtillus* sites, evens off rather rapidly. After about 20 years, the stands growing on the *Oxalis-Myrtillus* sites start to catch up with the stands growing on the fields. This can be partly explained by the fact that the latter stands have been grown more densely than the former (cf. Kuusela 1956). It is also possible that within 20 years the birch stands on the fields no longer gain any benefit from the nutrient reserves and good physical structure of the mineral soil frequently subjected to tilling and other cultivation activities. The roots subsequently may have found it more difficult to push themselves into the underlying compact layers of soil. The results of this study point in any case to the fact that the growing of *B. pendula* on fertile forest sites may in the long run be even more productive than on fertile old fields.

The results obtained for the planted birch stands can be compared to the results for extensive *B. pendula* progeny tests established in southern and central Finland in the beginning of the 1960's (e.g. Raulo 1974, Raulo and Koski 1975, 1977). It is evident that the trees growing in these progeny tests and progeny plantations on fine sand fields have developed, on average, almost as quickly as those measured in this study on old fields. The results are also in good agreement with the results published by Hedeman-Gade (1964) for the development of a *B. pendula* plantation in Sweden. The results obtained in this study can thus be used as the basis for calculating the growth and yield of dominant trees when *B. pendula* is grown on fields of a suitable type and on *Oxalis-Myrtillus* sites. During the next few years, the benefits to be obtained from breeding activity should also be taken into account when calculating the production and productivity of *B. pendula* plantations.

5. LITERATURE

Cajander, A. K. 1949. Forest types and their significance. Acta For. Fenn. 56 (5): 1—71.

Erkén, T. 1972. Planterad björk i mellersta och övre Norrland. Summary: Results of Progeny Trials with Birch in Middle and Upper Norrland. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 70: 435—465.

Hedeman-Gade, E. 1964. Produktionsresultat av planterad vårtbjörk. [Results of production of *Betula pendula* Roth plantation. (Summary in English)]. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskr. 62: 167—192.

Heiskanen, V. 1957. Raudus- ja hieskoivun laatu eri kasvupaikoilla. Summary: Quality of the common birch and the white birch on different sites. Commun. Inst. For. Fenn. 48 (6): 1—99.

Ilvessalo, Y. 1947. Pystypuiden kuutioimistaulukot. Summary: Volume tables for standing trees. Commun. Inst. For. Fenn. 34 (4): 1—149.

—»— 1956. Suomen metsät vuosista 1921—24 vuosiin 1951—53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. Summary: The forests of Finland from 1921—24 to 1951—53. A survey based on three national forest inventories. Commun. Inst. For. Fenn. 47 (1): 1—227.

—»— 1963. IV valtakunnan metsien inventointi. 2. Maan eteläpuoliskon metsänhoitolautakuntien alueryhmät. Summary: Fourth national forest inventory. 2. Southern forestry board districts. Commun. Inst. For. Fenn. 57 (4): 1—99.

Johnsson, H. 1951. Avkommeprövning av björk — preliminära resultat från unga försöksplanteringar. Medd. fr. Föreningen för växtförädling av skogsträd. Svensk PappTidn. 54: 379—393, 412—426.

—»— 1967. Avkommeprövning av björk. Föreningen skogsträdsförädling. Årsbok 1966: 90—135.

Koivisto, P. 1957. Etelä-Suomen hoidettujen raudus- ja hieskoivikoiden kehityksestä. 158 pp. Mimeograph. University of Helsinki. Department of Forest Mensuration and Management.

—»— (Ed.). 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Commun. Inst. For. Fenn. 51 (8): 1—49.

—»— 1960. Om tillväxtskillnader mellan vårt- och glasbjörkbestånd. Norrl. SkogsvFörb. Tidskr. 1960: 1—6.

Kujala, V. 1946. Koivututkimuksia. Summary: Some recent Research data on Birches. Commun. Inst. For. Fenn. 34 (1): 1—36.

Kuusela, K. 1956. Hakkuilla käsiteltyjen koivikoiden rakenteesta ja kasvusta. Summary: On the structure and growth of birch stands treated with cuttings. Silva Fenn. 90 (3): 1—21.

—»— 1970. Suomen eteläpuoliskon metsävarat 1964—68 ja niiden kehittyminen. Summary: Forest resources in southern half of Finland in 1964—68 and their development. Commun. Inst. For. Fenn. 71 (1): 1—69.

Raulo, J. 1962. Koivun rodunjalostuksesta. Puumies 7: 305—311.

—»— 1973. Rauduskoivun viljelyketju: 24 pp. Helsinki. Suomen Vaneriyhdistys.

—»— 1974. Permanent experiments at the Rautalahti birch experimental area. Rautalahti. (An estate for birch experiments). 9 pp. Helsinki. The Finnish Forest Research Institute — Enso-Gutzeit Company.

—»— 1976. Reforestation chain of *Betula pendula* Roth. 17 pp. Mimeograph. The Finnish Forest Research Institute. Department of Silviculture.

Raulo, J. & Hinttala, T. 1975. Taimilajien merkitsemisestä. Metsä ja Puu 92: 23.

Raulo, J. & Koski, V. 1975. Erilaisten rauduskoivujälkeläistöjen pituuskasvu Etelä- ja Keski-Suomessa. Summary: Height growth of different progenies of *Betula verrucosa* Ehrh. in South and Middle Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 84 (7): 1—30.

—»— 1977. Growth of *Betula pendula* Roth progenies in southern and central Finland. Suomenkielinen seloste: Rauduskoivujälkeläistöjen kasvu Etelä- ja Keski-Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 90 (5). In print.

Sarvas, R. 1949. Puumaiset koivulajimme. Metsätaloudellinen aikakauslehti 66: 9—13.

—»— 1951. Raudusko vai hies vanerikoivuna parempi? Summary: *Betula verrucosa* or *B. pubescens* — which is the better veneer-birch? Metsätaloudellinen aikakauslehti 68: 51—53.

Schulenburg, A. von 1955. Problem beträffande proveniensfrågor hos pionjärträd. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskr. 53: 411—415.

Wettstein, W. von 1954. Auslese bei Birkennachkommenschaften. Holzforschung 5: 106—108.

6. SUOMENKIELINEN SELOSTE

Tutkimuksessa tarkastellaan istutettujen raudus- ja hieskoivikoiden taloudellisesti tärkeimpien puustonosien kehitystä. Tutkittaviksi metsiköiksi valittiin kaikki entisellä viljelysmaalla ja käenkaali-mustikkatyypin metsämaalla Etelä-Suomessa kasvavat yli 20-vuotiaat viljelykoivikot. Aineistoa kerättäessä löytyi ainoastaan kymmenen tällaista metsikköä. Näistä viisi oli perustettu entiselle pellolle ja toiset viisi käenkaali-mustikkatyypin metsämaalle. Metsiköt sijaitsivat Punkaharjun, Kangasalan ja Porvoon kunnissa (Taulukko 1). Tutkittaviksi puustonosiksi valittiin hehtaaria kohti 100 ja 400 paksuinta runkoa. Näiden pituuden kehitys ja läpimitan kasvu 1.3 m:n ja 6.0 m:n korkeuksilla selvitettiin koealoilta kaadetuista puista tehtyjen runkoanalyysien avulla.

Tutkimusaineisto tarjoaa metsiköiden vähäisestä määrästä huolimatta hyvät edellytykset raudus- ja hieskoivikoiden valtapuiden kehityksen vertailulle. Aineistoon sisältyy neljä sellaista koealaparia, joissa raudus- ja hieskoivikot kasvavat rinnakkain. Nämä metsiköt on alunperin istutettu kyseisten puulajien vertailukoealoiksi, ja niitä on hoidettu samoja käsittelyperiaatteita noudattaen.

Valtapuiden kehitys on nyt tutkituissa rauduskoivikoissa selvästi nopeampaa kuin hieskoivikoissa. Esimerkiksi 400 paksuimman puun kuutiomäärä/ha on 30-vuotisessa rauduskoivikossa noin kaksinkertainen hieskoivikon vastaavaan kuutiomäärään verrattuna (Taulukko 2). Nyt saadut tulokset asettavat kyseiset puulajit entistä eriarvoisempaan asemaan viljeltäessä tai kasvatettaessa niitä rehevillä kasvualustoilla.

Pellolla ja käenkaali-mustikkatyypin metsämaalla kasvavien istutettujen rauduskoivikoiden valtapuiden kehitys on esitetty taulukossa 3. Näitä tuloksia voidaan verrata toistuvin harvennuksin käsiteltyjen, luontaisesti syntyneiden rauduskoivikoiden valtapuiden kehityksestä julkaistuihin tuloksiin (K o i v i s t o 1957, 1959, 1960). Esimerkiksi 100 paksuimman puun kuutiomäärä/ha on 30-vuotisessa käenkaali-mustikkatyypin metsämaalla kasvavassa viljelykoivikossa noin kaksinkertainen verrattaessa sitä toistuvasti harvennetun, luontaisesti syntyneen rauduskoivikon vastaavan puustonosan kuutiomäärään. Tässä yhteydessä on syytä korostaa, että ne metsiköt, joissa tehtyjen mittausten perusteella toistuvin harvennuksin käsiteltyjen rauduskoivikoiden kasvu- ja tuottotaulukot on Suomessa laadittu, ovat saaneet kehittyä pitkään harventamattomina ja ainakin ensimmäiset 20—30 vuotta erittäin tiheinä.

Taulukossa 3 esitetyt luvut tarjoavat myös mahdollisuuden tarkastella valtapuiden kehitysrytmiä pellolle ja käenkaali-mustikkatyypin metsämaalle istutetuissa rauduskoivikoissa (Kuvat 3 ja 4). On merkillepantavaa, että noin 20 vuoden kuluttua istutuksesta alkavat metsämaalle perustetut koivikot saada kiinni pellolle istutettujen koivikoiden alussa saavuttamaa etumatkaa. Nämä tulokset antavat viitteitä siitä, että rauduskoivun viljely rehevällä metsämaalla saattaa pitkällä tähtäyksellä olla jopa tuottoisampaa kuin sen viljely rehevällä pellolla.

Laajoissa 1960-luvulla perustetuissa rauduskoivun jälkeläiskokeissa ja jälkeläisviljelyksissä ovat puut hiesupellolla kehittyneet keskimäärin yhtä nopeasti kuin nyt mitatuissa, entisillä pelloilla kasvavissa rauduskoivikoissa (vrt. R a u l o 1974, R a u l o ja K o s k i 1975, 1977). Näin ollen voitaneen käsillä olevan tutkimuksen tuloksia pitää järeän puun tuotto- ja tuotoslaskelmien perustana viljeltäessä rauduskoivua sen kasvatukseen sopivalla pellolla ja käenkaali-mustikkatyypin metsämaalla. Lähivuosina on myös jalostushyöty otettava huomioon viljellyn rauduskoivikon tuotto- ja tuotoslaskelmia tehtäessä.

GROWTH OF BETULA PENDULA ROTH PROGENIES IN SOUTHERN AND CENTRAL FINLAND

JYRKI RAULO and VEIKKO KOSKI

SUOMENKIELINEN SELOSTE

RAUDUSKOIVUJÄLKELÄISTÖJEN KASVU ETELÄ- JA KESKI-SUOMESSA

HELSINKI 1977

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

FOREWORD

The present study is part of a large research project carried out at the Finnish Forest Research Institute since 1961 on the breeding of *Betula pendula* Roth. The project has been financed mainly by the Finnish Plywood Association and it has been realized in cooperation with A. Ahlström Oy, Enso-Gutzeit Osakeyhtiö, Oy Kaukas Ab, Oy Wilh. Schauman Ab, Keskusmetsälautakunta Tapio, The National Board of Forestry, and the Foundation for Forest Tree Breeding. The authors acknowledge this with gratitude.

A large number of persons on the staffs of the above companies and institutions as well as several members of the staff of the Finnish Forest Research Institute, Departments of Silviculture and Forest Genetics, have participated in the various stages of this project.

The manuscript was checked by Professors Max. H a g m a n, Paavo K a l l i o, and Arne R o u s i, and Dr. Matti L e i k o l a. The Finnish language manuscript was translated into English by Mrs. Marja D e t h l e f s e n and the translation was checked by Mr. John D e r o m e, M.Sc.

The authors tender their sincere thanks to all the persons referred to above and to several others who have also participated in this project. The authors remember with respect the late Professor Risto S a r v a s who provided guidance and inspiration for their work. Furthermore, Raulo wishes to express his appreciation to the National Research Council for Agriculture and Forestry. While employed by them as research assistant he brought the present study to completion.

The work was divided up between the authors as follows. Raulo was in charge of the procurement of test material and of the planning, establishment and maintenance of the tests. He was also responsible for the field measurements. Koski participated in the calculation and interpretation of the results. Raulo has written the manuscript.

Helsinki, December 30, 1976

Jyrki Raulo

Veikko Koski

CONTENTS

1. Introduction 5
2. Material 7
21. Plus trees 7
22. Procurement of seed 9
23. Raising of seedlings 11
24. Field tests 12
3. Measurements and calculation of results 15
4. Results 17
41. Geographical transfers 17
42. Controlled crosses and open-pollinated progenies 20
43. Long-distance crosses 20
44. Variation between progenies 22
45. Fast growing progenies 24
5. Discussion 32
6. Literature 36
7. Suomenkielinen seloste 39

1. INTRODUCTION

In Finland, like elsewhere in northern Europe, *Pinus silvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. are the main tree species used as raw material by the forest industry. It thus follows that in tree breeding work in northern Europe, emphasis has been laid on the investigation and breeding of the quality and growth characteristics of these species.

In Sweden, however, some experiments designed to clarify provenance questions and the hybridization breeding of the genus *Betula* were established already in the 1940's (e.g. Johnsson 1951, 1967, Erkén 1972). In Germany and the United States, the genus *Betula* has also received some attention from tree breeders (e.g. Wettstein 1954, Schulenburg 1955, Stern 1963, Tigerstedt 1966, König 1971, Clausen 1973).

In Finland, the plywood industry annually consumes approx. 2 million cubic meters of heavy birch. During the last decade, the paper and board industries have also been using birch as raw material to an increasing degree. In Finland, *Betula pendula* Roth has been to some extent included in the tree breeding program ever since its initiation. However, owing to the dominant position of conifers in the forest economy, other tree species have remained rather unimportant.

A number of investigations into the fundamental aspects of birch breeding were initiated, mainly with the support of foreign funds, in the early 1960's. These investigations concerned, amongst other things, the flowering of some birch species (Sarvas 1972), self- and cross-incompatibility (Hagman 1971), and mutation breeding (Vaarama and Valanne 1968a, 1968b, 1969, Valanne 1972).

In 1961, The Finnish Plywood Association made a considerable grant to the Forest Research Institute for the development of *Betula pendula* planting material of high quality and fast growth. The prime aim was to find phenotypically good *Betula pendula* plus trees, to test their breeding value, and to examine possible methods for use in the breeding work. In arranging the program for the testing of the plus trees selected as starting material for the investigation, it was considered important that the progeny tests to be established should provide information on the following questions:

— effect of geographical transfers,
— development of open-pollinated and control-pollinated progenies of plus trees,

— possible advantages offered by long-distance crosses to tree breeding, and
— variation occurring in the growth characteristics between single progenies; this question was of particular interest.

In the present study, a survey of various control-pollinated and open-pollinated progenies and their development as regards height, diameter at breast height, and volume is made on the basis of results provided by extensive field tests established in southern and central Finland in 1965—69.

Preliminary results of the field tests included in the material of the present investigation have been published earlier (K o s k i and R a u l o 1972, K o s k i 1974, R a u l o 1974, R a u l o and K o s k i 1975).

2. MATERIAL

21. Plus trees

Selection of plus trees as basic material for tree breeding was initiated in Finland in the 1940's. In connection with the selection of *Pinus silvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. plus trees, some *B. pendula* plus trees were also marked. For a long time, almost the same principles were applied in the selection of plus trees of different tree species. For an individual tree to be selected it had to stand out distinctly from among the neighbouring trees by reason of its fast growth and good quality. The stand itself was not given much attention. However, plus trees were never selected from stands that had undergone selection cutting and from which, consequently, the largest trees had been removed (cf. S a r v a s 1947, 1953). In employing a single-phased selection method like this that is almost exclusively concerned with individual trees, it is obvious that the trees selected from poor stands are, on an average, inferior to those selected from good stands.

In *B. pendula* stands there never occur more than a few individual trees clearly superior to the others. The higher the selection intensity in respect of the various characteristics, the fewer in number are the trees that can be selected at reasonable cost and the more scattered their location in the area involved. A scattered location of plus trees, again, significantly interferes with all tree breeding activities. The considerable disadvantages of the single-phased method of selecting plus trees led, in 1964, in the case of *B. pendula*, to the adoption of a new two-phased method. In this, the first step was to select stands that were entirely of good quality and the second, to select from these stands the best dominant trees and mark them as plus trees. When the quality of stands and trees was assessed, the principal characteristics of interest were stem straightness and degree of taper, and the number, size and grouping of the branches. In general, the trees selected were straight-stemmed and slender-branched. There were no upturned limbs on them and the branches were not grouped in distinct whorls. Trees that were unhealthy and those with a particularly acute branch angle were not selected as plus trees (R a u l o 1969). This two-phased plus tree selection method has been applied in Finland in the selection of several other tree species, too (cf. O s k a r s s o n 1970, 1972).

The basic material of the present investigation comprises a total of 125 plus trees growing in southern and central Finland (Fig. 1). Of them, approx. 80 % have been selected using the two-phased selection method. Nearly all the trees are growing in almost pure *B. pendula* stands several hectares in size. The stands have been naturally regenerated on burnt-over clearings, and are very even-aged (Fig. 2). Plus trees have also been selected from *B. pendula* plantations.

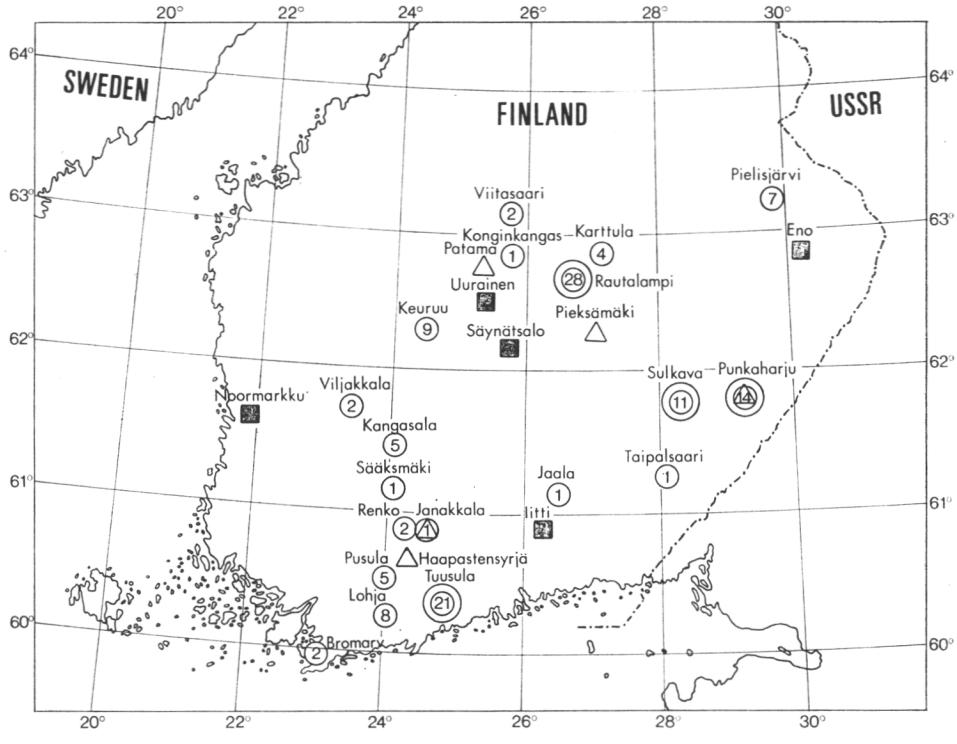


Figure 1. Location of plus trees, crossing stands, nurseries and field tests.
Kuva 1. Pluspuiden, risteytysmetsiköiden, taimitarhojen ja kenttäkokeiden sijainti.

② = Location and number of plus trees
Pluspuiden sijainti ja määrät

△ = Nursery
Taimitarha

⑪ = Crossing stand and number of plus trees
Risteytysmetsikkö ja pluspuiden määrä

■ = Field test
Kenttäkoe

22. Procurement of seed

The seed lots used in this study were obtained in 1962—1966. Controlled crosses were made between plus trees that were growing in stands located in the municipalities of Tuusula, Punkaharju, Sulkava and Rautalampi (Fig. 1). Open-pollinated seed was collected in different years from plus trees included in the cross-breeding programs, and from several other plus trees. Procurement of the pollen needed for the crosses, isolation of the female flowers, emasculation, pollination, removal of the isolation bags and collection of the seeds were for the most part done by workers

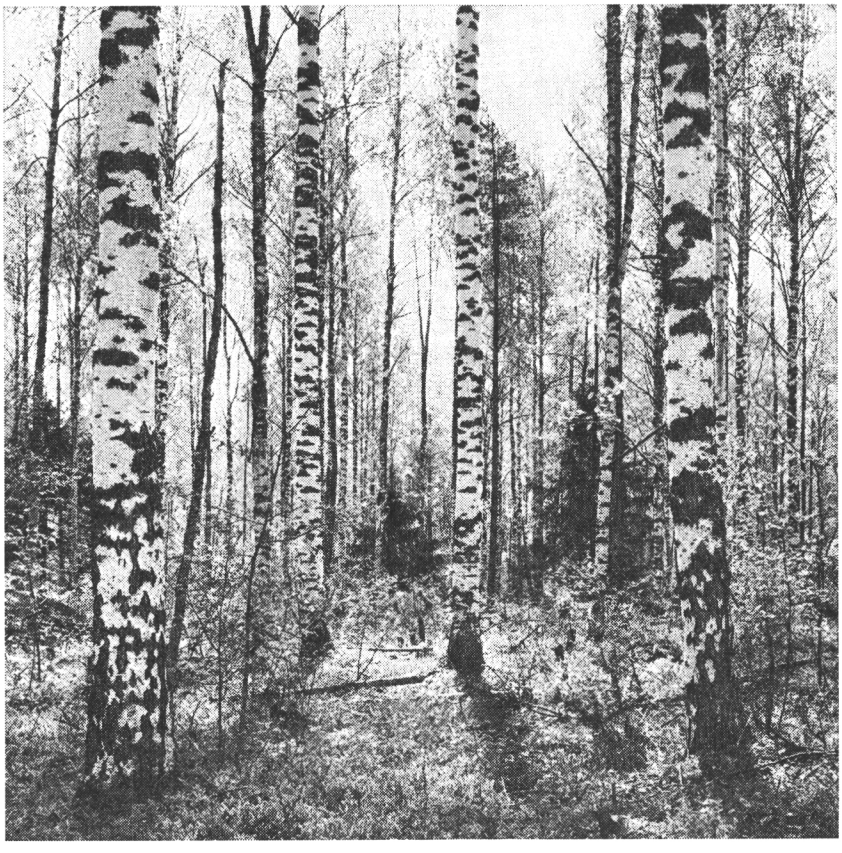


Figure 2. *B. pendula* stand in central Finland. The majority of the basic material for the present investigation originates from naturally regenerated, almost even-aged *B. pendula* stands. (Photo O. Huuri).

Kuva 2. Rauduskoivikko Keski-Suomessa. Pääosa tutkimuksen lähtömateriaalista on peräisin luontaisesti syntyneistä ja miltei tasaikäisistä rauduskoivikoista. (Valok. O. Huuri).



Figure 3. Breeding work at Kangasala in the spring of 1962. Twigs with male catkins were collected from father trees. The pollen to be used in the crossings was obtained from flowers forced indoors. (Photo J. Raulo).

Kuva 3. Jalostustyötä Kangasalla keväällä 1962. Hedeoksat kerättiin isäpuista ja siitepöly hyödettiin niistä sisätiloissa. (Valok. J. Raulo).

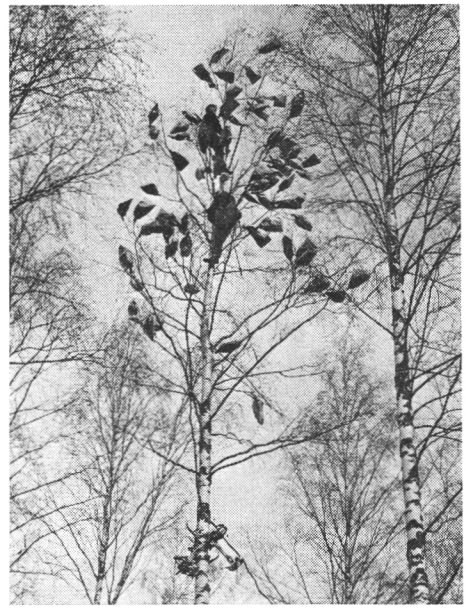


Figure 4. Breeding work at Rautalampi in the spring of 1964. The female flowers were isolated before the beginning of flowering and were pollinated approx. one week after the isolation. (Photo O. Oskarsson).

Kuva 4. Jalostustyötä Rautalammilla keväällä 1964. Emikukat eristettiin ennen kukinnan alkamista ja pölytettiin noin viikon kuluttua eristyksestä. (Valok. O. Oskarsson).

trained mainly during the course of the present study (Figs. 3 and 4). A small portion of the crosses were made on grafts of plus trees which had been planted in a plastic greenhouse and forced to flower (Fig. 5). Not all of the crosses yielded seed fit to be used. This may be partly due to the fact that some of the isolation bags burst before removal time, especially during the first few years when paper bags were used for isolation. Later, when terylene bags were used, better results were obtained. In connection with the isolation of female flowers, all the mother trees to be cross-pollinated were provided with 3—5 control bags which were not pollinated. If the germinative capacity of the seed collected from these bags exceeded 5 per cent, all the crosses made on that particular mother tree were disqualified. When cross-pollinations were carried out at Rautalampi in 1964, control-bags were not used.



Figure 5. Seed collection at Punkaharju in July 1962. A small portion of the crosses were made on grafts of plustrees which had been planted in a plastic greenhouse and forced to flower. (Photo M. Mannelin).

Kuva 5. Siementen keruuta Punkaharjulla heinäkuussa 1962. Pieni osa risteytyksistä tehtiin muovihuoneeseen istutetuissa ja siellä kukkimaan hyödetyissä pluspuiden vartteissa. (Valok. M. Mannelin).

23. Raising of seedlings

The germinative capacity of all the seed lots was determined late in the winter of the year of sowing. After that the seed was distributed for sowing in such a way that the number of germinable seeds per each square meter to be sown totalled approx. 1 000. The object of this procedure was to eliminate the effect of different seed densities on the initial development of the seedlings.

The seedlings for the field tests established in 1965—1967 were raised in the Haapastensyrjä, Vanaja and Pieksämäki nurseries operated by the Foundation for Forest Tree Breeding, and in the Punkaharju nursery of the Forest Research Institute. The seedlings for the field test set up in 1969 were raised in the Patama nursery operated by the National Board of Forestry. The localities of these nurseries are shown in Fig. 1.

At all the nurseries the seed lots were sown in the spring, without replications, on fertilized peat soil in plastic greenhouses. The following spring, seedlings were selected from these seed beds and transplanted out in the open at a spacing of 20 × 20 cm (Fig. 6). At the Patama nursery, the transplants were replicated in accordance with the layout for the future field test. At the other nurseries, the seedlings were transplanted without using replications. Following planting out, the seedlings were grown in the nursery for one season. After lifting they were first graded and bundled in accordance with the layout for the future field tests, and then sent off to the tests. In test 544/2, 3-year old seedlings were used. After transplanting out in the open, these seedlings had been raised for two seasons.

At all the nurseries, when the seedlings to be transplanted and those to be sent to tests were sorted, all mechanically injured and bifurcate seedlings, as well as the ones that were unhealthy and distinctly retarded were removed. Thus the sorting conformed to the general practice then prevailing at Finnish nurseries.

It should be emphasized that the seedlings were first reared in plastic greenhouses and only the biggest ones subsequently selected for transplanting. This may have favoured those individuals which grew fast in the warm growing conditions of plastic greenhouses. This applied to all the progenies.

24. Field tests

The material covers 12 field tests located in different parts of southern and central Finland (Fig. 1 and Table 1). The field tests have been numbered, in this paper, in accordance with the test numbers used in the Genetic Register of the Finnish Forest Research Institute.

The climatic conditions in the experimental areas differ somewhat from one another. This difference can best be quantified by the temperature sum (degree days +5°C threshold value) and the annual rainfall. The temperature sum combines the effect of time (length of the growing season) and temperature (during the growing season) (S a r v a s 1967). Continuous temperature and rainfall measurements were not made in the experimental areas. The data was taken from records of the respective mean values during the years 1931—1960 (K o l k k i 1966, H e l i m ä k i 1967). The values for the different test areas are as follows:

Test area	Temperature sum of the growing season, d.d.	Annual rainfall, mm
Eno	1 080	550
Uurainen	1 100	600
Noormarkku	1 180	550
Säynätsalo	1 200	550
Iitti	1 250	600

When selecting the test sites and planning the tests an attempt was made to keep the soil texture, moisture conditions and topography as homogeneous as possible. The majority of the tests were established on tilled or untilled fields that had been earlier under intensive cultivation. Hay had been grown last on most of the fields. At Noormarkku, the situation was exceptional in that the tests were established on drained and tilled alluvial soil. At Eno, Uurainen and Säynätsalo, the soil of the test sites was mostly fine sand. At Iitti test sites, the soil was composed of organogenic matter.



Figure 6. 2-year old seedlings in the Vanaja nursery in the autumn of 1964. The seedlings for the field tests were first reared in a plastic greenhouse and were then transplanted out in the open. (Photo J. Raulo).

Kuva 6. Kaksivuotiaita taimia Vanajan taimitarhassa syksyllä 1964. Taimet kenttäkokeita varten kasvatettiin ensin muovihuoneessa ja koulittiin tämän jälkeen avomaalle. (Valok. J. Raulo).

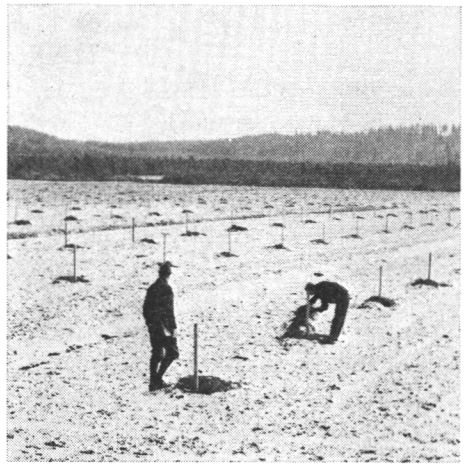


Figure 7. Iitti test area in the autumn of 1966. The seedlings have been heeled in beside the poles in the center of the sample plots to await the planting scheduled for the spring. (Photo P. Leinonen).

Kuva 7. Iitin koealue syksyllä 1966. Taimet on valeistutettu koeruutujen keskipaalujen viereen odottamaan keväällä tapahtuvaa istutusta. (Valok. P. Leinonen).

Table 1. Number, location, year of planting, and structure of the tests.
Taulukko 1. Kokeiden numerointi, sijainti, perustamisvuosi ja rakenne.

Test No. *Koe n:o*	Municipality *Kunta*	Geographical location *Maantieteellinen sijainti*	Year of planting *Perustamis-vuosi*	Number of progenies *Jälkeläis-töjä, kpl*	Number of blocks *Lohkoja, kpl*	Number of seedlings per plot *Taimia koe-yksikössä, kpl*	Total number of seedlings *Kokeen taimi-määrä, kpl*
280/1	Noormarkku	61° 36′ N, 21° 56′ E	1967	20	4	100	8 000
280/2	Noormarkku	61° 36′ N, 21° 57′ E	1969	110	6	9	5 940
476/1	Iitti	60° 52′ N, 26° 28′ E	1967	31	5	49	7 595
476/2	Iitti	60° 52′ N, 26° 28′ E	1967	123	9	9	9 963
542/1	Säynätsalo	62° 09′ N, 25° 43′ E	1965	18	4	25	1 800
542/4	Säynätsalo	62° 09′ N, 25° 43′ E	1967	9	4	100	3 600
542/5	Säynätsalo	62° 09′ N, 25° 43′ E	1965	7	4	25	700
542/6	Säynätsalo	62° 09′ N, 25° 43′ E	1965	16	2	25	800
542/7	Säynätsalo	62° 09′ N, 25° 43′ E	1967	20	6	25	3 000
543/1	Eno	62° 46′ N, 30° 09′ E	1965	11	4	25	1 100
543/2	Eno	62° 46′ N, 30° 09′ E	1965	6	5	25	750
544/2	Uurainen	62° 24′ N, 25° 31′ E	1966	14	4	25	1 400
		Total — *Yhteensä*					44 648

For the tests established in the springs of 1965 and 1966, the test plots had been marked out the previous autumn, and the seedlings were brought from the nurseries in the spring of the year of planting. In subsequent years, when further tests were established, the test plots were marked out in the autumn preceding the year of planting. In addition, the location of the seedlings in their respective test plots were marked and the seedlings transferred to the planting sites, in the autumn. In most cases, they were heeled in in the center of the test plots to await planting the following spring (Fig. 7). In all the tests, the spacing of the seedlings was 2 × 2 m and they were planted at one side of a pit dug in the center of a scalp approx. 40 × 40 cm in size. The planting operations were led by trained people from the maintenance staff of the forest owners, under the supervision of a representative of the Finnish Forest Research Institute.

The development of the seedlings was followed by making annual inspections and, where necessary, the seedlings were released from the harmful competition of ground vegetation or sprouts of deciduous trees. In uncultivated, former hay fields it was necessary to repeat these operations 3—4 times. In cultivated fields, the need for subsequent treatment was clearly less. At a later developmental stage of the plantations, all the naturally regenerated seedlings and sprouts of deciduous trees were removed from the test plots before they started to interfere with the development of the test seedlings. In the tests located at Säynätsalo, Iitti and Noormarkku, the seedlings were fertilized two years after planting (8 g synthetic urea/seedling). At the Säynätsalo test plots, the fertilization was repeated in 1973 (500 kg synthetic urea/ha).

In all the tests, a randomized complete block design was used. The number of blocks and progenies was not the same in all the tests. A plot comprised 9, 25, 49 or 100 seedlings. The reason for using different plot sizes was that when the tests were established no experimental information was available as to how the different test designs differed from one another with regard to discriminative capacity.

In the course of the birch breeding program in years 1961—1969 a number of differing tests were established. Tests set up according to the one-tree-plot-test-design are not covered by the present investigation on account of their poor discriminative capacity (R a u l o and K o s k i 1975). Furthermore, some of the tests were excluded because the number of progenies was very small or because they had been damaged considerably by voles.

3. MEASUREMENTS AND CALCULATION OF RESULTS

The height of the trees and the diameter at breast height were measured in the autumn of 1974 or in the spring of 1975. At the same time the number of dead trees in the different test units was recorded. By this time, in the oldest tests the trees had already attained a height of more than ten meters (Fig. 8). In the test areas where



Figure 8. A view of Säynätsalo test area in February 1977. This part of the test was planted in the spring of 1965. The dominant trees have already attained a height of more than ten meters. (Photo L. Tervo).

Kuva 8. Säynätsalon koealueen keväällä 1965 perustettua osaa valokuvattuna helmikuussa 1977. Valtapuut ovat jo saavuttaneet yli kymmenen metrin pituuden. (Valok. L. Tervo).

the plots comprised 9 or 25 trees, all the trees were measured. If the plot comprised more than 25 trees, the measurements were made on the trees located in a delimited sample plot 10 × 10 m in size, in the center of the original test plot. The height of the trees was measured to the nearest 10 cm, using a pole measure. The diameter of the trees, inclusive of bark, at breast height was determined, with an accuracy of 0.1 cm, by means of calipers. The measurements were recorded on test plot maps. Dead trees were also marked on them.

The volume of the trees was calculated using unpublished equations kindly placed at our disposal by Mr. Jouko L a a s a s e n a h o, M.For. (L a a s a s e n a h o 1976). The calculation was restricted to the dominant trees of each test plot. In the 9-tree test plots, the four largest trees were regarded as dominants and in the 25-tree test plots the ten largest. This was done in order to restrict the examination to that portion of the growing stock that is economically most important (approx. 1 000 stems/ha). R a u l o and K o s k i (1975) have established that this procedure reduces the error variance and somewhat improves the discriminative capacity in spite of the reduction in the number of individual sample trees.

The statistical parameters (number of trees, mean value, standard deviation and the mean error of the mean value) for each test, block, plot, and progeny were calculated by a computer on the basis of single tree values. After this, the rank order of the mean of the dominant trees in the progenies of each test was put out — separately for each characteristic. One- and two-way variance analyses were used to study the statistical differences between the different treatments. The statistical significance of the difference between the mean value of every progeny and that of the test was determined for each test using the t-test.

4. RESULTS

41. Geographical transfers

The present investigation does not include an orderly series of geographical transfers because the different provenances are not evenly represented in the tests and a local standard is not always included in the tests. However, almost all the tests include progenies whose mother trees were growing at sites located more than 100 km from the growing site of the progenies. On the basis of the growth performance of the progenies belonging to this category, it is possible to gain some idea of the effect of geographical transfers on the growth characteristics of *B. pendula*. When clarifying the effect of southward transfers on the growth performance of trees, all the open-pollinated progenies in each test as well as those produced by controlled intra-stand crosses were investigated. The number of progenies included in this material totalled 210. The progenies representing crosses between different stands did not fall within the scope of the present study. In order that the results of different tests could be combined, the mean height, mean diameter at breast height and mean volume of all those open-pollinated progenies and intra-stand crosses whose mother and father trees grew at a distance not exceeding 100 km in the north-south direction from the test site were each given the relative value of one hundred in each test. After this, relative values were calculated for each progeny in each test. The results for height, breast height diameter and volume are shown in Fig. 9. These point diagrams show that the southward as well as the northward transfers covered by the tests have failed to have any distinct effect on any of the growth characteristics under investigation.

The effect of geographical northward transfers on the mortality rate of trees was determined using the results obtained from tests which included at least two progenies that had been transferred more than 200 km. The criterion was, in each test, the mean value of the mortality percentages of progenies whose mother and father trees grew at a distance not exceeding 100 km in the north-south direction from the test site. The investigation covered only progenies produced by open-pollination and intra-stand crosses. This comparison could only be made on the

results from two tests (Table 2). An almost similar investigation was made on transfers from north to south. In this case, the material included only two progenies representative of transfers exceeding 200 km. On the other hand, there were numerous progenies in four of the tests that had been transferred 101 to 200 km. For this reason, the examination was concentrated on these transfers (Table 3). As regards the above-mentioned two southward transfers exceeding 200 km, the mean value of the mortality percentages was 4.6 per cent and its 95 per cent confidence limits 2—10 per cent. From Tables 2 and 3 it can be seen that geographical transfers had no clear effect on the mortality rate of the trees. In the two tests in question, the 95 % confidence limits of the mortality percentages of progenies whose northward transfers exceed 200 km overlap those of the mortality percentage of the criterion. As regards southward transfers, the results obtained from the different tests are somewhat contradictive. Test 476/2 shows, with 95 per cent probability, that southward transfers reduce the mortality rate in trees. In contrast, the results obtained from test 280/1 indicate, with 95 per cent probability, that southward transfers have an increasing effect on the mortality rate. The results from the other two tests agree quite well in respect of both of the progeny groups under comparison.

Table 2. Effect of northward transfers on the mortality of trees.
Taulukko 2. Pohjoiseen suuntautuneiden siirtojen vaikutus puiden kuolleisuuteen.

Test No. *Koe n:o*	Control — *Vertailuerä*		Transfer northwards 201—275 km *Siirto pohjoiseen 201—275 km*	
	Number of progenies *Jälkeläistöjä, kpl*	Mortality, %, and its 95 % confidence limits *Kuolleisuus, % ja sen 95 %:n luotettavuusrajat*	Number of progenies *Jälkeläistöjä, kpl*	Mortality, %, and its 95 % confidence limits *Kuolleisuus, % ja sen 95 %:n luotettavuusrajat*
542/7	3	25.1 21—30	5	26.3 23—29
544/2	10	18.3 16—21	2	19.5 14—25

Table 3. Effect of southward transfers on the mortality of trees.
Taulukko 3. Etelään suuntautuneiden siirtojen vaikutus puiden kuolleisuuteen.

Test No. *Koe n:o*	Control — *Vertailuerä*		Transfer southwards 101—200 km *Siirto etelään 101—200 km*	
	Number of progenies *Jälkeläistöjä, kpl*	Mortality, %, and its 95 % confidence limits *Kuolleisuus, % ja sen 95 %:n luotettavuusrajat*	Number of progenies *Jälkeläistöjä, kpl*	Mortality, %, and its 95 % confidence limits *Kuolleisuus, % ja sen 95 %:n luotettavuusrajat*
280/1	2	4.7 3— 9	17	14.1 12—16
280/2	15	21.0 19—24	33	23.5 21—26
476/1	5	17.0 14—21	5	17.0 14—21
476/2	38	17.6 16—21	21	9.9 8—12

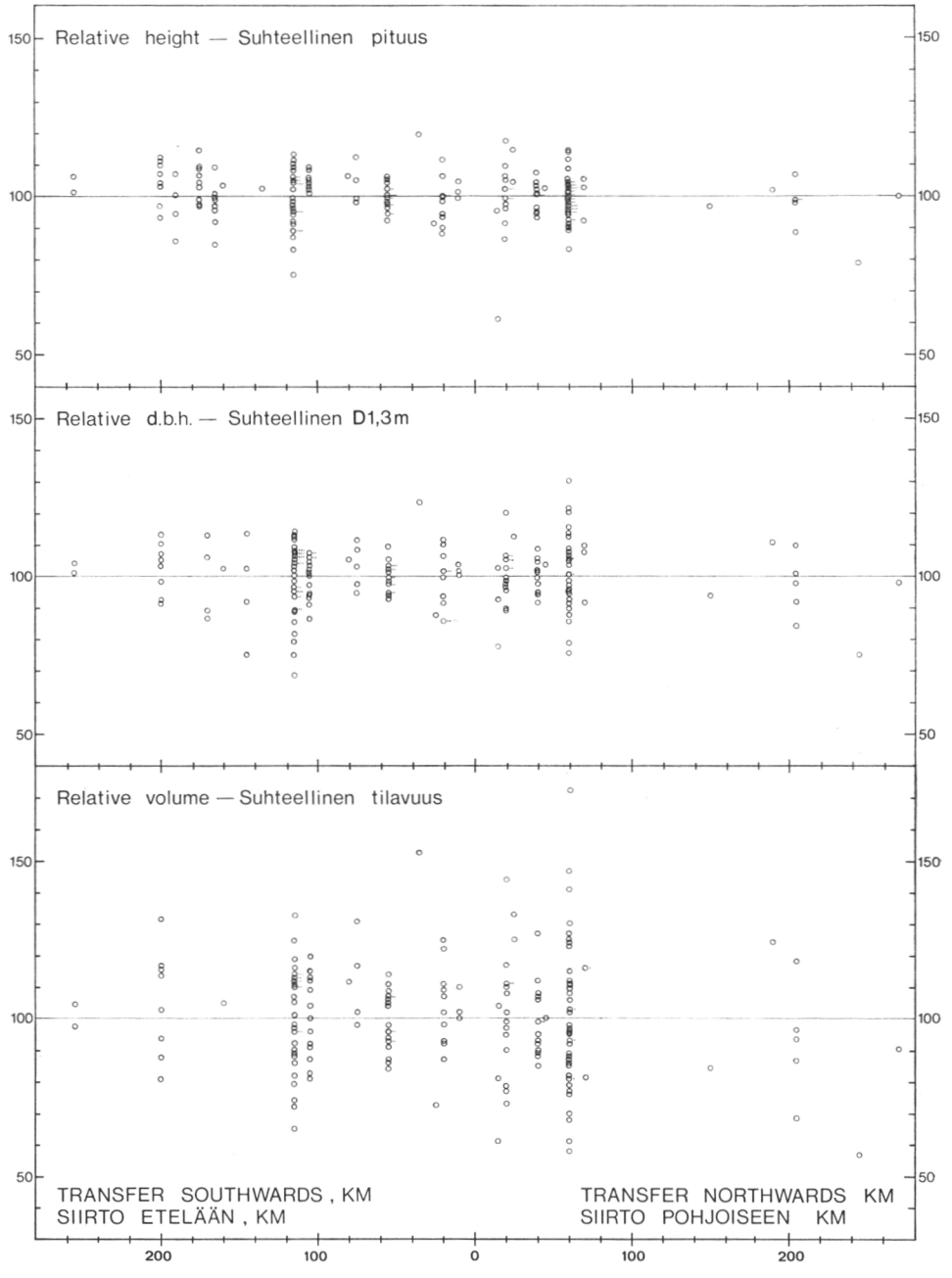


Figure 9. The effect of geographical transfers on the relative height, d.b.h., and volume of the different progenies.

Kuva 9. Alkuperäsiirtojen vaikutus eri jälkeläistöjen suhteelliseen pituuteen, rinnankorkeusläpimittaan ja kuutiomäärään.

o = One observation — *Yksi havainto*, o· = Two observations — *Kaksi havaintoa*, etc. — *jne.*

42. Controlled crosses and open-pollinated progenies

Eleven of the tests included progenies produced by controlled crosses between plus trees, as well as open-pollinated progenies of plus trees. In comparing the mean value pairs for the different characteristics of these progeny groups, it can be established that, as regards all the growth characteristics being compared, the differences between these two groups are generally small (Table 4).

In the tests that include more than five controlled crosses and five open-pollinated progenies each, the average development of the trees representative of the different progeny groups is almost similar. In two of these tests, the average mortality percentages of the open-pollinated progenies are higher than those of the crosses. In two other tests, the very opposite is true. This being the case, it is not possible to establish a clear-cut difference between the mortality percentages of the above progeny groups. The mean mortality percentage for all the tests, weighted with the number of progenies, is 20.0 %.

43. Long-distance crosses

In this study, crosses which are unlikely to occur in nature by reason of the mother and father trees growing far apart are referred to as long-distance crosses. The minimum distance between the mother and father trees was defined as 100 km. Crosses conforming to this definition occur in 11 tests and they total 168. In order to determine the effect of long-distance crosses on the growth performance of trees, the growth characteristics for these crosses were compared, in each test, with the mean of the corresponding characteristics for the other progenies in the same test. This procedure was deemed justified because, as stated above, it had been established that, if regarded as groups, controlled crosses and open-pollinated progenies did not differ from one another, and geographical transfers did not have any significant effect on the growth performance of trees. In Table 5 are tabulated the relative growth characteristics for the long-distance crosses in each test when one hundred is used to denote the relative value for the other progenies of each test.

Especially in those tests where there are numerous long-distance crosses, the relative values of the growth characteristics are very close to one hundred. In computing, for the different growth characteristics, the means weighted with the number of progenies of long-distance crosses, the following relative values were arrived at:

Height = 99.5 D.b.h. = 98.8 Volume = 98.9

These data indicate that, when regarded as a group, long-distance crosses did not, in the present tests, fare any better than did, on an average, the other groups of crosses.

Table 4. Mean values of height, d.b.h., and volume of dominant trees of progenies produced by controlled crossings and open-pollination, and total mortality percentages of all trees in different tests.
Taulukko 4. Risteytys- ja vapaapölytysjälkeläistöjen valtapuiden pituuksien, rinnankorkeusläpimittojen ja tilavuuksien keskiarvot ja kaikkien puiden kuolleisuussadannekset eri kokeissa.

Test No. *Koe n:o*	Age of test, yrs *Kokeen ikä, v*	Progeny group — *Jälkeläistöryhmä*									
		X	O	X	O	X	O	X	O	X	O
		Number of progenies *Jälkeläistöjä, kpl*		Height, m *Pituus, m*		D.b.h., cm *D 1.3 m, cm*		Volume, dm^3 *Tilavuus, dm^3*		Total mortality, % *Kaikkien puiden kuolleisuus, %*	
280/1	8	1	19	5.49	6.06	4.69	5.33	6.86	8.06	29.0	13.1
280/2	6	97	13	5.57	5.66	4.74	4.79	6.65	6.29	20.4	25.7
476/2	8	111	12	5.84	6.26	5.60	5.92	8.81	9.84	18.8	5.1
542/1	11	11	7	10.04	10.14	9.27	9.34	34.63	36.32	25.3	32.6
542/4	9	8	1	6.48	7.77	5.50	6.76	9.22	14.08	45.9	18.0
542/5	11	4	3	9.81	9.55	8.29	8.49	27.14	27.59	16.5	15.0
542/6	11	10	6	10.67	10.52	9.41	9.33	37.18	35.86	11.2	10.3
542/7	8	18	2	6.51	6.80	5.97	6.11	10.42	11.00	30.2	22.0
543/1	10	8	3	7.85	7.95	7.63	7.66	18.85	18.92	38.8	31.0
543/2	10	4	2	6.74	6.92	6.57	6.81	13.10	15.28	46.4	36.8
544/2	9	4	10	6.43	6.26	6.32	6.05	11.15	10.39	20.5	16.8

X = Progeny produced by controlled crossing — *Risteytysjälkeläistö.*
O = Open-pollinated progeny — *Vapaapölytysjälkeläistö.*

Table 5. Relative growth characteristics for long-distance crosses in different tests.
Taulukko 5. Kaukoristeytysjälkeläistöjen suhteelliset kasvutunnukset eri kokeissa.

Test No. *Koe n:o*	Number of progenies *Jälkeläistöjä, kpl*	Number of long-distance crosses *Kaukoristeytys-jälkeläistöjä, kpl*	Relative height *Suhteellinen pituus*	Relative d.b.h. *Suhteellinen D 1.3 m*	Relative volume *Suhteellinen tilavuus*
280/1	20	1	91.3	89.2	86.9
280/2	110	62	99.8	100.0	99.0
476/1	31	21	100.0	100.4	101.3
476/2	123	57	99.2	98.5	96.8
542/1	18	2	100.3	98.0	97.1
542/4	9	6	98.2	99.2	97.0
542/5	7	1	102.6	91.3	85.0
542/6	16	4	99.3	100.6	100.7
542/7	20	12	99.8	100.2	100.4
543/2	6	1	98.2	99.8	91.5
544/2	14	1	101.7	94.4	88.5

The effect of long-distance crosses was further examined in the light of the results of test 280/2. This test includes intra-stand crosses from Sulkava and Rautalampi and long-distance crosses between trees growing in these stands. Each progeny group is represented by at least 10 progenies (Table 6). It appears from this, too, that the progenies produced by long-distance crosses, Sulkava × Rautalampi or Rautalampi × Sulkava, have not grown any better than the progenies produced by intra-stand crosses in these stands. The distance between the Sulkava and Rautalampi stands is 125 km.

Table 6. Comparison of the growth characteristics of different progeny groups in test 280/2.
Taulukko 6. Erilaisten risteytysryhmien kasvutunnusten vertailu kokeessa 280/2.

Progeny group *Risteytysryhmä*	Number of progenies *Jälkeläistöjä, kpl*	Height, m, and its 95 % confidence limits *Pituus, m ja sen 95 %:n luotettavuusrajat*	D.b.h., cm, and its 95 % confidence limits *D 1.3 m, cm ja sen 95 %:n luotettavuusrajat*	Volume, dm^3, and its 95 % confidence limits *Tilavuus, dm^3 ja sen 95 %:n luotettavuusrajat*
Rautalampi × Rautalampi .	25	5.58±0.43	4.8±0.39	6.29±0.94
Sulkava × Sulkava	10	5.53±0.80	4.7±0.80	6.48±1.72
Rautalampi × Sulkava	23	5.52±0.41	4.7±0.41	6.27±0.98
Sulkava × Rautalampi	12	5.42±0.62	4.7±0.62	6.08±1.46

44. Variation between progenies

In the foregoing it has been established that the geographical transfers carried out in connection with the present study did not affect the growth rate of the different progenies. When regarded as groups, the progenies produced by open-pollination and those produced by controlled crossing did not differ from one another, and long-distance crossing did not influence the growth rate significantly.

In all the tests, there were considerable differences between the progeny means for all the growth characteristics studied. In order to show the magnitude of variation between progenies, the ranges of the different growth characteristics, measured in the tests with the largest number of progenies, are given below:

Test No.	Height, m	D.b.h., cm	Volume, dm^3
280/2	4.57 · · · 6.65	3.67 · · · 5.88	4.29 · · · 9.74
476/2	4.56 · · · 7.02	4.21 · · · 7.34	5.14 · · · 15.38

In the following the distribution of progenies between the extremes is studied. It has earlier been established (R a u l o and K o s k i 1975) that in the tests included in the present material, the distribution of the mean heights of the different progenies into classes followed the normal distribution. In addition to the height of the trees, also the diameter at breast height and the volume have now been examined. For all the growth characteristics studied, the distribution of the progeny mean values into classes seems to conform well to the normal distribution. Examples of the normal distribution of the mean values for the breast height diameter and for the volumes of progenies are the results from tests 280/2 and 476/2, shown in Fig. 10. The variation between progenies, in respect of all the characteristics examined, can thus be described for each test, with the aid of the standard deviation.

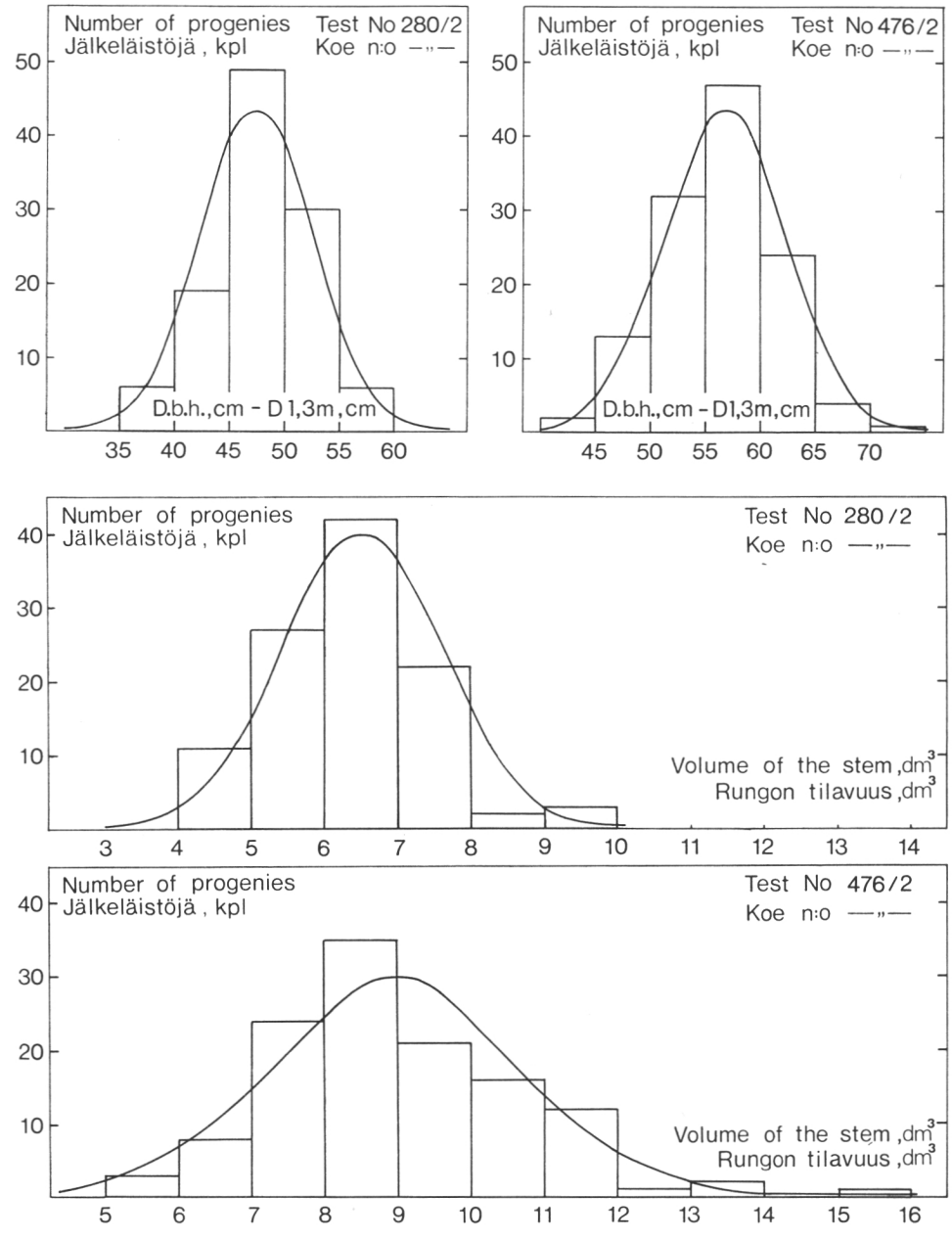


Figure 10. Distribution of progeny mean values into d.b.h. and volume classes in tests 280/2 and 476/2, and normal distribution curves calculated on the basis of the test mean values of d.b.h. and volume and their standard deviation.

Kuva 10. Jälkeläistökeskiarvojen jakautuminen rinnankorkeusläpimitta- ja tilavuusluokkiin kokeissa 280/2 ia 476/2. Kuviin on piirretty myös näiden kokeiden rinnankorkeusläpimittojen ja tilavuuksien keskiarvojen ia niiden standardipoikkeamien perusteella lasketut normaalijakautumakäyrät.

In order to be able to compare results from tests of varying age and location, the coefficient of variation for each characteristic in each individual test was computed. Table 7 shows the mean values for the different characteristics of the dominant trees and the coefficient of variation for each progeny. A good estimate of the magnitude of the variation can be obtained by computing, in respect of all the tests, the weighted mean values of the coefficients of variation for the different characteristics. The coefficient of variation for the mean heights is 6.1 per cent. As regards the diameters at breast height, the variation between progenies is somewhat larger than it is in the mean heights. For all the tests, the weighted coefficient of variation for the diameters is 8.4 per cent. The weighted coefficient of variation for the stem volume is clearly the largest, 17.2 per cent.

45. Fast growing progenies

In each test, the statistical significance of the differences between the different growth characteristics of the progenies was tested in several ways. A one-way variance analysis on the plot mean values indicated, in most tests, that the variation between blocks was statistically significant. The variation between progenies proved to be significant in test 476/2 only (Table 8). A two-way variance analysis made at the individual level necessitated, owing to some missing values, certain measures. By eliminating some of the blocks and progenies from the material, the number of missing values was minimized. These values were then computed in such a way that the plot mean value and standard deviation always remained the same. A two-way variance analysis carried out, after these preliminary measures, at the individual level, did not improve the significance of the differences between progenies (Table 9). Instead, the progeny × block interaction became very significant and so, when forming the other F-values, the denominator to be employed was the interaction variance rather than the error variance (H a l d 1952). A two-way variance analysis on the plot mean values somewhat improved the result, but even then the differences between progenies did not, generally, prove to be significant (Table 10). The small F-values were caused by established progeny × block interaction, i.e. from a varying rank order of some progenies in the different blocks. Owing to the fact that the differences between progenies were large and the best progenies in each block were clearly superior to the mean value for the test, the variance analysis was considered to be too rigorous for the testing of the present material and, therefore, the t-test was resorted to. In this case, the mean value of each progeny was compared with the mean value for the entire test. The possibility of error embodied in the t-test was dealt with by regarding only differences representative of 99.9 per cent reliability according to the t-test, as statistically significant. In this way it was possible to discover, in almost every test, progenies the mean value of whose growth characteristics was statistically better than the corresponding mean value for the test. Such progenies are referred to, in this investigation, as fast growing progenies.

Table 7. Mean values of height, d.b.h., and volume of dominant trees in different tests, and their coefficients of variation for each progeny.

Taulukko 7. Valtapuiden pituuksien, rinnankorkeusläpimittojen ja tilavuuksien keskiarvot eri kokeissa sekä niiden jälkeläistökohtaiset variaatiokertoimet.

Test No. *Koe n:o*	Municipality *Kunta*	Age of test, yrs *Kokeen ikä, v*	Number of progenies *Jälkeläistöjä, kpl*	Mean height, m *Keskipituus, m*	Height coefficient of variation, % *Pituuden variaatiokerroin, %*	D.b.h., cm *D 1.3 m, cm*	D.b.h. coefficient of variation, % *D 1.3 m variaatiokerroin, %*	Stem volume, dm^3/per tree *Rungon tilavuus, dm^3/puu*	Stem volume coefficient of variation, % *Rungon tilavuuden variaatiokerroin, %*
280/1	Noormarkku	8	20	6.02	7	5.30	10	7.89	20
280/2	Noormarkku	6	110	5.59	7	4.73	9	6.42	17
476/1	Iitti	8	31	5.40	6	5.16	8	7.21	18
476/2	Iitti	8	123	5.91	6	5.65	9	8.91	19
542/1	Säynätsalo	11	18	10.41	3	9.87	4	38.88	8
542/4	Säynätsalo	9	9	6.71	7	5.72	9	9.76	21
542/5	Säynätsalo	11	7	10.08	3	8.92	6	31.30	10
542/6	Säynätsalo	11	16	10.96	4	9.89	6	41.02	13
542/7	Säynätsalo	8	20	6.55	5	6.00	8	10.48	16
543/1	Eno	10	11	7.88	5	7.70	6	19.10	12
543/2	Eno	10	6	6.96	5	6.90	5	14.60	12
544/2	Uurainen	9	14	6.30	9	6.10	13	10.53	25

Table 8. Examples of the results of one-way variance analyses on plot means. (Height of trees in field tests 280/2 and 476/2).

Taulukko 8. Esimerkkejä ruutukeskiarvoilla tehtyjen yksisuuntaisten varianssianalyysien tuloksista. (Puiden pituus kokeissa 280/2 ja 476/2).

Test No. *Koe n:o*	Source of Variation *Vaihtelun lähde*	Degrees of Freedom *Vapausasteet*	Sum of Squares *Neliösumma*	Mean Square *Keskineliö*	F
280/2	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	109	116.25	1.07	0.915
	Within the progenies — *Jälkeläistöjen sisäinen*	459	534.77	1.17	
	Total — *Kokonais*	568	651.02		
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	5	121.15	24.23	25.744***
	Within the blocks — *Lohkojen sisäinen*	563	529.87	0.94	
	Total — *Kokonais*	568	651.02		
476/2	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	122	179.03	1.47	1.482***
	Within the progenies — *Jälkeläistöjen sisäinen*	973	963.44	0.99	
	Total — *Kokonais*	1 095	1 142.47		
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	8	428.64	53.58	81.592***
	Within the blocks — *Lohkojen sisäinen*	1 087	713.82	0.66	
	Total — *Kokonais*	1 095	1 142.46		

*** = significance — *merkitsevyys* 99.9 %.

Table 9. Examples of the results of two-way variance analyses at individual tree level. (Height of trees in field tests 280/2 and 476/2).

Taulukko 9. Esimerkkejä kaksisuuntaisten varianssianalyysien tuloksista puuyksilötasolla. (Puiden pituus kokeissa 280/2 ja 476/2).

Test No. *Koe n:o*	Source of Variation *Vaihtelun lähde*	Degrees of Freedom *Vapausasteet*	Sum of Squares *Neliösumma*	Mean Square *Keskineliö*	F
280/2	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	70	329.91	4.713	1.411*
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	4	205.71	51.292	15.352***
	Progenies × blocks — *Jälkeläistöt × lohkot*	280	935.52	3.341	7.780***
	Within the plots — *Ruutujen sisäinen*	1 023	439.31	0.429	
	Total — *Kokonais*	1 377	1 909.91		
476/2	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	111	685.15	6.173	2.814***
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	8	1 533.25	191.656	87.365***
	Progenies × blocks — *Jälkeläistöt × lohkot*	888	1 948.04	2.194	9.492***
	Within the plots — *Ruutujen sisäinen*	2 942	679.93	0.231	
	Total — *Kokonais*	3 949	4 846.37		

* = significance — *merkitsevyys* 95.0 %.
*** = » — » 99.9 %.

Table 10. Results of two-way variance analyses on plot means. (Height of trees).

Taulukko 10. Ruutukeskiarvoilla laskettujen kaksisuuntaisten varianssianalyysien tulokset. (Puiden pituus).

Test No. *Koe n:o*	Source of Variation *Vaihtelun lähde*	Degrees of Freedom *Vapausasteet*	Sum of Squares *Neliösumma*	Mean Square *Keskineliö*	F	Number of missing plots *Puuttuvat ruudut, kpl*
280/1	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	19	15.56	0.819	1.197	7
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	3	16.66	5.553	8.116***	
	Error — *Virhe*	50	34.21	0.684		
	Total — *Kokonais*	72	66.43			
280/2	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	100	132.63	1.326	1.525***	27
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	4	80.30	20.075	23.088***	
	Error — *Virhe*	373	324.33	0.870		
	Total — *Kokonais*	477	537.26			
476/1	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	28	14.92	0.533	1.005	0
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	4	6.54	1.636	3.087*	
	Error — *Virhe*	112	59.35	0.530		
	Total — *Kokonais*	144	80.82			

476/2	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	122	180.71	1.481	2.677***	11
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	8	432.36	54.045	97.657***	
	Error — *Virhe*	965	534.05	0.553		
	Total — *Kokonais*	1 095	1 147.12			
542/1	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	17	8.70	0.512	0.450	0
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	3	6.81	2.271	1.939	
	Error — *Virhe*	47	53.39	1.136		
	Total — *Kokonais*	67	68.91			
542/4	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	8	130.39	16.298	1.201	0
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	3	64.35	21.450	1.581	
	Error — *Virhe*	24	325.68	13.570		
	Total — *Kokonais*	35	520.41			
542/5	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	6	2.48	0.414	1.205	0
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	3	8.40	2.800	8.157**	
	Error — *Virhe*	18	6.18	0.343		
	Total — *Kokonais*	27	17.06			
542/6	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	15	5.53	0.369	2.448*	0
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	1	0.00	0.005	0.032	
	Error — *Virhe*	15	2.26	0.151		
	Total — *Kokonais*	31	7.79			
542/7	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	19	13.00	0.684	1.495	1
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	5	9.86	1.972	4.310**	
	Error — *Virhe*	94	43.00	0.457		
	Total — *Kokonais*	118	65.85			
543/1	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	10	10.83	1.083	2.474*	0
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	3	18.63	6.210	14.185***	
	Error — *Virhe*	30	13.13	0.438		
	Total — *Kokonais*	43	42.59			
543/2	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	37	67.01	1.811	2.477***	5
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	6	166.50	27.750	37.949***	
	Error — *Virhe*	217	158.68	0.731		
	Total — *Kokonais*	260	392.19			
544/2	Between the progenies — *Jälkeläistöjen välinen*	13	17.67	1.359	3.557**	1
	Between the blocks — *Lohkojen välinen*	3	2.91	0.970	2.539	
	Error — *Virhe*	38	14.52	0.382		
	Total — *Kokonais*	54	35.10			

* = significance — *merkitsevyys* 95.0 %.
** = » — » 99.0 %.
*** = » — » 99.9 %.

Table 11. Number of progenies that are significantly superior to the test mean value, and the degree of superiority of the fastest growing progeny as compared with the test mean value in different tests.
Taulukko 11. Kokeen keskiarvoa merkitsevästi parempien jälkeläistöjen lukumäärä ja nopeimmin kasvaneen jälkeläistön paremmuus kokeen keskiarvoon verrattuna eri kokeissa.

Test No. *Koe n:o*	Number of progenies *Jälkeläistöjä, kpl*	Characteristic — *Tunnus*					
		Height *Pituus*	D.b.h. *D 1.3 m*	Volume *Tilavuus*	Height *Pituus*	D.b.h. *D 1.3 m*	Volume *Tilavuus*
		Number of progenies that are significantly superior to the test mean value *Kokeen keskiarvoa merkitsevästi parempien jälkeläistöjen lukumäärä, kpl*			Degree of superiority of the fastest growing progeny as compared with the test mean value, % *Nopeimmin kasvaneen jälkeläistön paremmuus kokeen keskiarvoon verrattuna, %*		
280/1	20	3	2	2	14	13	32
280/2	110	10	10	5	19	24	52
476/1	31	3	2	2	13	21	45
476/2	123	15	14	7	19	30	72
542/1	18	2	—	—	4	6	12
542/4	9	1	1	1	16	18	44
542/5	7	—	—	1	3	5	12
542/6	16	4	2	1	7	9	25
542/7	20	6	4	3	8	12	26
543/1	11	1	1	1	9	6	15
543/2	6	1	1	—	8	8	14
544/2	14	4	5	4	16	17	42

Table 11 shows, for each test, the number of progenies which, according to the t-test, are, in respect of some investigated characteristic, significantly superior to the mean for the test. The percentage by which the best progeny exceeds the mean value for the test is also shown, for each investigated characteristic, in Table 11.

In comparison with the mean value for the test, the degree of superiority of the fastest growing progenies of the tests, with regard to all the investigated characteristics, is significant. In five tests, the stem volume of the best progeny exceeds the mean value for the test by more than 40 per cent. The mean value is exceeded the most, i.e. by 72 per cent, in test 476/2. In this test, the following additional examinations were made. The mean volume of the dominant trees in the plots in the immediate vicinity of the best progeny was denoted, in the different blocks, by one hundred, and the relative value for the volume of the dominant trees of the best progeny in the different blocks was computed. A similar examination was made concerning the second best progeny. This progeny exceeded the mean value for the test, with regard to volume, by 49 per cent. The results of these separate examinations are shown below:

Block, No.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	$\bar{x}$
Relative value of the best progeny	167	134	175	212	172	111	194	165	184	168
Relative value of the next best progeny ..	179	126	178	197	168	121	100	177	166	157

The progenies whose different characteristics are significantly better than the mean for the test are listed according to their respective test and mother tree numbers in Tables 12, 13 and 14.

Table 12. Progenies that in respect of height are significantly superior to the test mean value.
Taulukko 12. Pituudeltaan kokeen keskiarvoa merkitsevästi paremmat jälkeläistöt.

Test No. *Koe n:o*	Progeny — *Jälkeläistö*	
	Mother tree and its location *Emopuu ja sen kasvupaikka*	Father tree and its location *Isäpuu ja sen kasvupaikka*
280/1	K 248, Rautalampi	—
»	K 249, Rautalampi	—
»	K 338, Rautalampi	—
280/2	E2380, Sulkava	E 370, Keuruu
»	E3002, Sulkava	E2380, Sulkava
»	K 249, Rautalampi	E1598, Keuruu
»	K 250, Rautalampi	K 342, Rautalampi
»	K 251, Rautalampi	K 343, Rautalampi
»	K 338, Rautalampi	—
»	K 341, Rautalampi	E2394, Sulkava
»	K 342, Rautalampi	E1599, Keuruu
»	K 968, Rautalampi	K 335, Rautalampi
»	K 968, Rautalampi	K 342, Rautalampi
»	K 969, Rautalampi	E2394, Sulkava
476/1	E2369, Punkaharju	E1500, Tuusula
»	E3011, Tuusula	K 249, Rautalampi
»	K 250, Rautalampi	E2101, Pusula
476/2	E1982, Punkaharju	E 398, Bromarv
»	E2376, Punkaharju	E1500, Tuusula
»	E2812, Sääksmäki	—
»	E3012, Tuusula	E3004, Tuusula
»	E3013, Tuusula	E1500, Tuusula
»	E3013, Tuusula	E3004, Tuusula
»	E3013, Tuusula	E3017, Tuusula
»	E3018, Tuusula	E2359, Renko
»	K 249, Rautalampi	E 210, Janakkala
»	K 250, Rautalampi	E2101, Pusula
»	K 251, Rautalampi	—
»	K 335, Rautalampi	—
»	K 339, Rautalampi	E2297, Lohja
»	K 339, Rautalampi	—
»	K 341, Rautalampi	—
542/1	E1600, Keuruu	—
»	K 251, Rautalampi	K 964, Rautalampi
542/4	K 257, Rautalampi	—
542/6	E 369, Keuruu	E 606, Taipalsaari + E 210, Janakkala
»	E1970, Kangasala	E1980, Pusula
»	E1986, Punkaharju	E1984, Punkaharju
»	E1987, Punkaharju	E1982, Punkaharju
542/7	E3021, Tuusula	E3003, Tuusula
»	K 250, Rautalampi	E2359, Renko
»	K 251, Rautalampi	E2101, Pusula
»	K 337, Rautalampi	E2356, Viljakkala
»	K 338, Rautalampi	E2101, Pusula
»	K 961, Rautalampi	—
543/1	K 251, Rautalampi	K 256B, Rautalampi
543/2	E 369, Keuruu	E 606, Taipalsaari + E 210, Janakkala
544/2	E 184, Keuruu	—
»	E 368A, Keuruu	—
»	E1987, Punkaharju	E1986, Punkaharju

— = Open-pollinated progeny of the mother tree — *Emopuun vapaapölytysjälkeläistö.*

Table 13. Progenies that in respect of d.b.h. are significantly superior to the test mean value.
Taulukko 13. Rinnankorkeusläpimitaltaan kokeen keskiarvoa merkitsevästi paremmat jälkeläistöt.

Test No. *Koe n:o*	Progeny — *Jälkeläistö*	
	Mother tree and its location *Emopuu ja sen kasvupaikka*	Father tree and its location *Isäpuu ja sen kasvupaikka*
280/1	K 248, Rautalampi	—
»	K 338, Rautalampi	—
280/2	E2380, Sulkava	E 370, Keuruu
»	E3002, Sulkava	E2380, Sulkava
»	E3662, Sulkava	K 250, Rautalampi
»	K 249, Rautalampi	E2598, Keuruu
»	K 340, Rautalampi	E2394, Sulkava
»	K 340, Rautalampi	E3662, Sulkava
»	K 342, Rautalampi	E1599, Keuruu
»	K 968, Rautalampi	K 335, Rautalampi
»	K 968, Rautalampi	K 342, Rautalampi
»	K 969, Rautalampi	E2394, Sulkava
476/2	E1982, Punkaharju	E 398, Bromarv
»	E1982, Punkaharju	E1500, Tuusula
»	E2376, Punkaharju	E1500, Tuusula
»	E2812, Sääksmäki	—
»	E3012, Tuusula	E3004, Tuusula
»	E3012, Tuusula	E3017, Tuusula
»	E3013, Tuusula	E1500, Tuusula
»	E3013, Tuusula	E3004, Tuusula
»	E3013, Tuusula	E3017, Tuusula
»	E3018, Tuusula	E2359, Renko
»	K 249, Rautalampi	E 210, Janakkala
»	K 335, Rautalampi	—
»	K 339, Rautalampi	E2297, Lohja
»	K 339, Rautalampi	—
542/4	K 257, Rautalampi	—
542/6	E1972, Kangasala	E2101, Pusula
»	E2101, Pusula	—
542/7	E3021, Tuusula	E3003, Tuusula
»	K 250, Rautalampi	E2359, Renko
»	K 251, Rautalampi	E2101, Pusula
»	K 338, Rautalampi	E2101, Pusula
543/1	K 251, Rautalampi	K 256B, Rautalampi
543/2	E 369, Keuruu	E 606, Taipalsaari + E 210, Janakkala
544/2	E 184, Keuruu	—
»	E 368A Keuruu	—
»	E1981, Punkaharju	E1984, Punkaharju
»	E1987, Punkaharju	E1986, Punkaharju

— = Open-pollinated progeny of the mother tree — *Emopuun vapaapölytysjälkeläistö.*

Table 14. Progenies that in respect of stem volume are significantly superior to the test mean value.
Taulukko 14. Rungon tilavuuden suhteen kokeen keskiarvoa merkitsevästi paremmat jälkeläistöt.

Test No. *Koe n:o*	Progeny — *Jälkeläistö*			
	Mother tree and its location *Emopuu ja sen kasvupaikka*		Father tree and its location *Isäpuu ja sen kasvupaikka*	
280/1	K 248,	Rautalampi	—	
»	K 338,	Rautalampi	—	
280/2	E2380,	Sulkava	E 370,	Keuruu
»	K 249,	Rautalampi	E1598,	Keuruu
»	K 340,	Rautalampi	E3662,	Sulkava
»	K 968,	Rautalampi	K 342,	Rautalampi
»	K 969,	Rautalampi	E2394,	Sulkava
476/1	E2369,	Punkaharju	E1500,	Tuusula
»	K 251,	Rautalampi	E2356,	Viljakkala
476/2	E2812,	Sääksmäki	—	
»	E3012,	Tuusula	E3004,	Tuusula
»	E3012,	Tuusula	E3017,	Tuusula
»	E3013,	Tuusula	E1500,	Tuusula
»	E3013,	Tuusula	E3004,	Tuusula
»	E3013,	Tuusula	E3017,	Tuusula
»	K 339,	Rautalampi	E2297,	Lohja
542/4	K 257,	Rautalampi	—	
542/6	E1970,	Kangasala	E1980,	Pusula
»	E1987,	Punkaharju	E1982,	Punkaharju
542/7	E3021,	Tuusula	E3003,	Tuusula
»	K 250,	Rautalampi	E2359,	Renko
»	K 338,	Rautalampi	E2101,	Pusula
543/1	K 251,	Rautalampi	K 256B,	Rautalampi
544/2	E 184,	Keuruu	—	
»	E 368A,	Keuruu	—	
»	E1981,	Punkaharju	E1984,	Punkaharju
»	E1987,	Punkaharju	E1986,	Punkaharju

— = Open-pollinated progeny of the mother tree — *Emopuun vapaapölytysjälkeläistö.*

5. DISCUSSION

This study is extensive as regards both the starting material and the field tests. The material includes a total of 125 plus trees and 278 different controlled crosses or open-pollinated progenies. The experimental material consists of 12 field tests with approx. 45 000 trees. In most cases, the calculation of results is based exclusively on the dominant trees. They number approx. 13 500. The tests are located on diverse growing sites in different parts of southern and central Finland and represent well the present *B. pendula* growing area in Finland. From the technical point of view, the tests have been successful. The average mortality rate of all the trees is only 20 %. In the oldest tests, the dominant trees have already attained a mean height of approx. 10 m and even in the younger ones the mean height of the dominants exceeds 5—6 meters.

The field tests were established at the time when systematic breeding of *B. pendula* was initiated in Finland. At that time preliminary information was required about many questions relevant to the breeding of this species. This is one of the reasons why the tests vary in size and progeny composition. It is possible, using diverse investigative material, to clarify the effect of geographical transfers and to compare the growth performance of progenies belonging to different crossing groups, as well as to study the breeding value of the plus trees included in the material. However, the great diversity of the tests also has some drawbacks. Direct comparison cannot be made between the rank order of the progenies in the different tests. Furthermore, the material does not include series of diallele and factorial crosses which could be used for the estimation of genetic parameters. In spite of the fact that the tests vary in structure and have been established on different types of soil in different localities, the results obtained are very consistent.

The effect of geographical transfers on the growth rate of conifers has been extensively studied. It has been found, for instance, that there are distinct differences in Fennoscandia between different provenances. The growth rate of southern provenances has often proved to be superior to that of local provenances, provided that the transfer has not been made over so great a distance as to subject the trees to climatic and biotic disturbances which would have a detrimental effect on their development (e.g. Schotte 1923, Hagem 1924, Kalela 1937, Langlet 1945, Heikinheimo 1949, Johnsson 1955). A special mention should be made of the good results obtained in Sweden with central European spruce provenances (e.g. Langlet 1960, 1964, Kiellander 1970, Krutzsch 1975).

Examination of this extensive *B. pendula* material available indicated that when transfers of only slightly more than 200 km were made in southern and central Finland, they did not have any systematic effect on the mortality or growth rate of the progenies. The mean values for the various provenance groups differed only slightly from one another. On the other hand, the intra-group variation between provenances and between individuals was found to be significantly large (cf. e.g. Johnsson 1951, Raulo and Koski 1975, Raulo 1976). The finding that the transfers lacked effect seems to contradict the results presented by Johnsson (1951). According to him, *B. pendula*, in Sweden, has a particularly steep cline in latitudes 60° to 62°N. However, these tests were carried out in the conditions prevailing in lat. 56°N in southern Sweden. When using Johnsson's material to determine how provenances that have been transferred only 200—300 km grow in lat. 56°N, it can be established that transfers of this length have no great effect on tree growth. Thus the contradiction between the results obtained in Sweden and the present ones is not real. In Finland, Raulo (1976) has established that even small genetic differences in *B. pendula* can be found in conditions which are significantly different from the normal growing conditions of the provenances under investigation. In a test made at Kevo Subarctic Research Institute at Utsjoki (69°45'N, 27°01'E) the provenances from central Finland clearly fared better than those from southern Finland. This finding is analogous with the results obtained by Johnsson (1951) in Skåne. However, it cannot be stated offhand that exceptional growing conditions could be exploited successfully in intensifying the activities concerned with *B. pendula* progeny testing. Genotypes thriving in such exceptional conditions are not likely to be very successful in normal conditions as regards adaptation and growth.

From the standpoint of tree breeding and practical seed production, the most important finding is that the geographical transfers made within southern and central Finland have so far failed to produce a distinct increase or decrease in the growth rate. In practice, long transfers should be avoided, since, without doubt, some risk is involved. On the other hand, transfers do not serve any useful purpose, because it is obvious that even the hereditary variation occurring in a fairly limited geographical area provides a good starting point for selection and other measures concerned with the breeding of *B. pendula*.

In all the tests, comparison of open-pollinated progenies and controlled crosses with one another revealed only small differences between these two progeny groups. In both groups, the number of progenies considerably better than the mean value for the tests is, in proportion to the test, equal. This finding in itself was not surprising, because the starting material was mainly composed of dominants that had grown in good Finnish *B. pendula* stands and had been selected for outstanding quality characteristics. This being the case, the selection intensity in the starting material with regard to growth was not very high.

From the standpoint of practical seed production, the result now obtained is

significant. Since the growth performance of controlled crosses and that of progenies produced by open-pollination are similar, the open-pollination seed of plus trees included in the tests and the seed produced by random crosses between these trees rank equal as far as growth potential is concerned.

In a number of plant species, cross breeding between two homozygous lines has produced distinct heterosis. In fact, in the breeding of several plant species, heterosis is regarded as one of the very best methods of obtaining quick results (cf. e.g. R o h m e d e r and S c h ö n b a c h 1959, A l l a r d 1960). When the heterosis method is applied to forest trees, it is assumed that homozygosis is prevalent and that the populations are composed of small-area family groups that may even comprise less than twenty individuals each (cf. e.g. S a k a i and M i y a z a k i 1972, W r i g h t 1976). In such circumstances, the heterosis effect should be produced even by crosses between trees belonging to family groups that are situated fairly close to one another. The formation of differentiated subpopulations presupposes either a small effective population size and efficient isolation, or large differences in the selection pressure. On the basis of experimental results concerned with *B. pendula* pollen dispersal (K o s k i 1970), it can be said for certain that the effective population size is not very small. Gene exchange between *B. pendula* stands is successful as a result of pollen dispersal. Furthermore, the strong self-incompatibility found in the species (H a g m a n 1971) is indicative of almost complete cross-breeding. The climatic factors are almost similar over a wide area in southern Finland. The differences in the altitude of the terrain, except for some isolated exceptions, are 100 to 200 m, at the most, and the types of soil suitable for *B. pendula* do not differ very much from one another. Under the circumstances, the selection pressures are likely to be almost similar throughout large areas and the change in the length of the growing season is gradual. The finding that long-distance crosses did not produce heterosis can be interpreted to mean that the crosses involved produced no combinations that did not already exist in nature. In other words, *B. pendula* stands in southern and central Finland are not closed populations but form an overlapping network in which gene frequencies change only when a change occurs in the selection pressure. When the population structure is different, as in mountainous regions or in the case of species occurring as isolated islands, long-distance crosses may give different results.

The long-distance crosses presented in this investigation are not considered to be provenance crosses. The term long-distance cross is applicable only where the difference between the average flowering times of the populations in different localities is not larger than the differences between trees in the same stand. If the differences between the average flowering times of the populations are larger than the difference outlined above, the crosses involved could be referred to as provenance or ecotype crosses. For instance, the crosses made in Sweden between trees of distant populations, and which have given good results are, according to the above definition, provenance crosses (cf. J o h n s s o n 1951, 1974, N i l s s o n 1973, 1974). In pro-

venance crosses, fast growth is likely to result not so much from an increase in the heterozygosity, but rather from new gene combinations.

The finding that, in the present material, there were no significant differences between geographical transfers and between different progeny groups was certainly not in agreement with expectations. However, this finding made it much easier to outline the variation displayed by the material. There was evidence of variation between the tests, blocks, and progenies. At all levels, the variation naturally has a genetic and a non-genetic component. To be able to distinguish between them would have been desirable, but it turned out not to be possible. The biggest problems are caused by the error variance displayed within blocks. This became clear when the progeny × block interaction was examined at the individual level using two-way variance analysis. When the interaction proves statistically significant, as was the case in the material in question, it is not warranted, according to S c h e f f e (1959), to make far-reaching interpretations of variance analyses. However, the established interaction is regarded not as the outcome of a true genotype-environment interaction but as one resulting mainly from microvariations in the growing site.

In order to test the statistical significance of differences between progenies the t-test was used. The mean value for the test was used as the criterion and the standard error was calculated on the basis of all the dominant trees from every block. In this way it was possible to identify, in almost every test, the progenies which, with regard to height and breast height diameter, significantly exceeded the mean value for the test. The progenies which in respect of stem volume exceeded statistically the mean value for the test numbered only 27 and they were located in nine tests.

The results presented in this study show that the possibilities of improving the growth rate of *B. pendula* are very good. In the present material, many progenies have attained a stem volume that exceeds the mean value for the test by more than 40 per cent. Several of these progenies have been produced by controlled crosses. Thus, *B. pendula* seed growers can be shown several parent trees (father and mother trees) that can be crossed for the production of fast-growing progenies. In order that the genetic base of the breeding material of *B. pendula* would remain broad enough, it is advisable to use for the production of birch seed all the good cross combinations brought out by the present investigation. Furthermore, in future tree breeding, the existing good progenies should be used. In addition, new plus stands and plus trees should be selected. It is important that their breeding value should be tested by field tests of satisfactorily long duration. The results now obtained regarding geographical transfers, controlled crosses, open-pollinated progenies and long-distance crosses will considerably facilitate the selecting of methods to be employed in the breeding of *Betula pendula*.

6. LITERATURE

Allard, R. W. 1960. Principles of Plant Breeding. 485 pp. New York. John Wiley & Sons. Inc.

Clausen, K. 1973. Genetics of yellow birch. US. Forest Service Research Paper WO-18: 1—28.

Erkén, T. 1972. Planterad björk i mellersta och övre Norrland. Summary: Results of Progeny Trials with Birch in Middle and Upper Norrland. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 70: 435—465.

Hagem, O. 1924. Et proveniensforsøk med furu. Tidsskr. Skogbr. 32: 524—534.

Hagman, M. 1971. On self- and cross-incompatibility shown by *Betula verrucosa* Ehrh. and *Betula pubescens* Ehrh. Commun. Inst. For. Fenn. 73 (6): 1—125.

Hald, A. 1952. Statistical theory with engineering applications. 783 pp. New York. John Wiley & Sons. Inc.

Heikinheimo, O. 1949. Tuloksia kuusen ja männyn maantieteellisillä roduilla suoritetuista kokeista. Summary: Results of experiments on the geographical races of spruce and pine. Commun. Inst. For. Fenn. 37 (2): 1—44.

Helimäki, U. I. 1967. Tables and maps of precipitation in Finland 1931—1960. Supplement to the meteorological yearbook of Finland. Volume 66 part 2-1966. 22 pp. Helsinki. The Finnish Meteorological Office.

Johnsson, H. 1951. Avkommeprövning av björk — preliminära resultat från unga försöksplanteringar. Medd. fr. Föreningen för växtförädling av skogsträd. Svensk PappTidn. 54: 379—393, 412—426.

—»— 1955. Utveckling i 15-åriga försöksodlingar av tall i relation till proveniens och odlingsort. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskr. 53: 57—88.

—»— 1967. Avkommeprövning av björk. Föreningen skogsträdsförädling. Årsbok 1966: 90—135.

—»— 1974. Genetic characteristics of *Betula verrucosa* Ehrh. and *B. pubescens* Ehrh. Annales Forestales Anali za Šumarstvo 6: 91—133.

Kalela, A. 1937. Zur Synthese der experimentellen Untersuchungen über Klimarassen der Holzarten. Seloste: Puulajien ilmastorotuja koskevista kokeellisista tutkimuksista. Commun. Inst. For. Fenn. 26 (1): 1—448.

Kiellander, C. L. 1970. Studies on Populations in *Picea abies* (L). Karst. with special Regard to Growth and Frost Resistance. 31 pp. Lund. A. Bloms Boktryckeri A.—B.

Kolkki, O. 1966. Tables and maps of temperature in Finland during 1931—1960. Supplement to the meteorological yearbook of Finland. Volume 65 part 1a-1965. 42 pp. Helsinki. The Finnish Meteorological Office.

König, A. 1971. Entscheidungshilfen für die Forstpflanzenzüchtung. Allg. Forstzeitschr. 26: 49—50.

Koski, V. 1970. A study of pollen dispersal as a mechanism of gene flow in conifers. Commun. Inst. For. Fenn. 70 (4): 1—78.

—»— 1974. On the effective population size in an areally continuous forest. Proceedings, Joint IUFRO Meeting, S.02.04.1—3. Stockholm. 1974: 253—270.

—»— & Raulo, J. 1972. Ennakkotuloksia rauduskoivun jälkeläiskokeesta. Metsäntutkimuslaitos. Metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja 6: 1—9.

Krutzsch, P. 1975. Zwei Herkunftsversuche mit Fichte in Schweden (IUFRO 1938). Research Notes No. 16/1975. 93 pp. Stockholm. Royal College of Forestry. Department of Forest Genetics.

Laasasenaho, J. 1976. Männyn, kuusen ja koivun kuutioimisyhtälöt. 89 pp. Mimeograph. University of Helsinki. Department of Forest Mensuration and Management.

Langlet, O. 1945. Om möjligheterna att skogsodla med gran- och tallfrö av ortsfrämmande proveniens. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskr. 43: 68—78.

—»— 1960. Mellaneuropeiska granprovenienser i svenskt skogsbruk. Zusammenfassung: Mitteleuropäische Fichte in Schweden, nach den Ergebnissen des internationalen Provenienzversuches von 1938. K. Skogs- o. LantbrAkad. Tidskr. 99: 259—329.

—»— 1964. Proveniensvalets betydelse för produktion och skogsträdsförädling av gran. Summary: The Importance of the Choice of Provenance for the Production of Timber and Forest Tree Breeding of Norway Spruce (*Picea excelsa* (Lam.) Link). Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskr. 62: 145—155.

Nilsson, B. 1973. Recent results of inter-provenance crosses in Sweden and the implications for breeding. Research Notes No. 12/1973. 7 pp. Stockholm. Royal College of Forestry. Department of Forest Genetics.

—»— 1974. Heterosis in an intraspecific hybridization experiment in Norway Spruce (*Picea abies*). Proceedings, Joint IUFRO Meeting, S.02.04.1—3. Stockholm 1974: 197—206.

Oskarsson, O. 1970. Pluspuiden fenotyyppisessä valinnassa sovellettuja valinnan asteita. Summary: Selection degrees used in the phenotypic selection of plus trees. Folia For. 83: 1—14.

—»— 1972. Suomalaiset plusmännyt ja pluskuuset. Summary: Finnish plus trees of Scots pine and Norway spruce. Folia For. 150: 1—138.

Raulo, J. 1969. Koivun rodunjalostuksesta. Puumies 15: 57—59.

—»— 1974. Permanent experiments at the Rautalahti birch experimental area. Rautalahti. (An estate for birch experiments). 9 pp. Helsinki. Finnish Forest Research Institute — Enso-Gutzeit Company.

—»— 1976. Development of *Betula pendula* Roth progenies in northern Lapland. Suomenkielinen seloste: Rauduskoivujälkeläistöjen kehitys Pohjois-Lapissa. Commun. Inst. For. Fenn. 88 (4): 1—19.

—»— & Koski, V. 1975. Erilaisten rauduskoivujälkeläistöjen pituuskasvu Etelä- ja Keski-Suomessa. Summary: Height growth of different progenies of *Betula verrucosa* Ehrh. in South and Middle Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 84 (7): 1—30.

Rohmeder, E. & Schönbach, H. 1959. Genetik und Züchtung der Waldbäume. 338 pp. Hamburg. Paul Parey.

Sakai, K. & Miyazaki, Y. 1972. Genetic Studies in Natural Populations of Forest Trees. II Family Analysis: A New Method for Quantitative Genetic Studies. Silvae Genet. 21: 149—154.

Sarvas, R. 1947. Millaiset puut soveltuvat metsäpuiden rodunjalostuksen kantapuiksi? Metsätaloudellinen aikakauslehti 64: 223—226.

—»— 1953. Ohjeita pluspuiden valitsemista ja ilmoittamista varten. Summary: Instruction for the Selection and Registration of Plus Trees. Silva Fenn. 80: 93—100, 112.

—»— 1967. The Annual Period of Development of Forest Trees. Proceedings of the Finnish Academy of Science and Letters 1965: 212—231.

—»— 1972. Investigations on the annual cycle of development of forest trees. Active period. Tutkimuksia metsäpuiden kehityksen vuotuisesta sykluksesta. Aktiivi periodi. Commun. Inst. For. Fenn. 76 (3): 1—110.

Scheffe, H. 1959. The Analysis of Variance. 477 pp. New York. John Wiley & Sons, Inc.

Schotte, G. 1923. Tallfröets proveniens. — Norrlands viktigaste skogsodlingsfråga. Résumé: La provenance des semences du pin sylvestre — une question très importante pour la régénération des foréts en Norrland. Medd. fr. Stat. skogsförsöksanst. 20: 305—400.

Schulenburg, A. von 1955. Problem beträffande proveniensfrågor hos pionjärträd. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskr. 53: 411—415.

Stern, K. 1963. Birkenzüchtung im Schmalenbecker Institut von 1949—1963. Holz-Zentralblatt 89: 1 577—1 580.

Tigerstedt, P. M. A. 1966. Entwicklung der genetischen Varianzen des Höhenwachstums in einem Feldversuch mit *Betula verrucosa*. Silvae Genet. 15: 136—137.

Vaarama, A. & Valanne, T. 1968a. Induced mutations and polyploidy in birch, *Betula* spp. Mutations induced with ionizing radiations. 81 pp. Mimeograph. Final Report Part II.3. (Project no: E8-FS-47. Grant no: FG-Fi-133). University of Turku. Department of Botany.

—»— 1968b. Induced mutations and polyploidy in birch, *Betula* spp. Induction of mutations with chemicals. 28 pp. Mimeograph. Final Report Part IV.4. University of Turku. Department of Botany.

—»— 1969. Induced mutations and polyploidy in birch, *Betula* spp. Experiments with colchicine-induced polyploidy. 95 pp. Mimeograph. Final Report Part III.5. University of Turku. Department of Botany.

Valanne, T. 1972. Colchicine effects and colchicine-induced polyploidy in *Betula*. Ann. Acad. Sci. Fenn., Ser. Biol. 191: 1—28.

Wettstein, W. von 1954. Auslese bei Birkennachkommenschaften. Holzforschung 5: 106—108.

Wright, J. W. 1976. Introduction to Forest Genetics. 463 pp. New York. Academic Press.

7. SUOMENKIELINEN SELOSTE

Tutkimuksessa tarkastellaan erilaisten rauduskoivujen risteytys- ja vapaapölytysjälkeläistöjen kasvua Etelä- ja Keski-Suomeen vv. 1965—69 perustettujen laajojen kenttäkokeiden antamien tulosten perusteella. Aineistoon sisältyy kaikkiaan 125 pluspuuta ja 278 erilaista jälkeläistöä. Kenttäkokeita on aineistossa 12 kpl ja niihin on istutettu yhteensä 45 000 tainta. Viljelyteknisesti kokeet ovat onnistuneet hyvin ja taimien kuolleisuussadannes on keskimäärin vain 20 %. Vanhimmissa kokeissa ovat valtapuut saavuttaneet jo noin 10 metrin keskipituuden ja nuorimmissakin valtapuiden keskipituus ylittää 5 metriä (Taulukko 1 ja 4 sekä kuvat 1—8).

Etelä- ja Keski-Suomessa tehdyillä rauduskoivun alkuperäsiirroilla ei saatu aikaan kasvunopeuden selvää lisäystä tai hidastumista (Taulukot 2 ja 3 sekä kuva 9). Pitkiä siirtoja on kuitenkin käytännössä syytä välttää, koska niihin epäilemättä sisältyy riski. Siirrot eivät toisaalta ole tarkoituksenmukaisiakaan, koska aivan ilmeisesti jokseenkin suppeallakin maantieteellisellä alueella esiintyvä periytyvä muuntelu tarjoaa hyvän lähtökohdan jalostustoimenpiteille.

Vapaapölytys- ja risteytysjälkeläistöjen vertailu osoitti kaikissa kokeissa vain pieniä eroja näiden jälkeläistöryhmien välillä (Taulukko 4). Risteytys- ja vapaapölytysjälkeläistöjen samanlainen kasvu asettaa nyt kokeissa mukana olleiden pluspuiden vapaapölytyssiemenet ja summittain näiden puiden välillä tehdyistä risteytyksistä saadut siemenet kasvun kannalta samanarvoiseen asemaan.

Kaukoristeytyksiksi luokiteltiin tässä tutkimuksessa sellaiset risteytysyhdistelmät, joiden emoja isäpuiden kasvupaikkojen välimatka oli yli 100 km. Tällaisilla kaukoristeytyksillä ei saatu aikaan kasvunopeuden lisääntymistä (Taulukot 5 ja 6). Tässä tutkimuksessa esitettyjä kaukoristeytyksiä ei lueta provenienssiristeytyksiin kuuluviksi.

Merkitsevien erojen puuttuminen nyt käsitellyssä aineistossa niin maantieteellisten siirtojen kuin myös erilaisten risteytysryhmien välillä ei suinkaan ollut ennakko-odotusten mukaista. Tämä tosiasia yksinkertaisti eri jälkeläistöjen välillä kaikissa kokeissa esiintyvän suuren vaihtelun kuvaamista (Taulukko 7 ja kuva 10). Jälkeläistöjen välisten erojen tilastollista luotettavuutta testattaessa päädyttiin t-testiin. Vertailukohtana pidettiin tällöin kokeen keskiarvoa. Näin saatiin erotetuksi kokeen keskiarvosta 99.9 %:n luotettavuudella suotuisasti erottuvia jälkeläistöjä pituuden ja rinnankorkeusläpimitan suhteen lähes kaikissa kokeissa (Taulukot 12 ja 13). Rungon tilavuuden suhteen oli näin erottuvia jälkeläistöjä vain 27 kpl (Taulukko 14).

Käsillä olevan tutkimuksen tuloksia voidaan pitää konkreettisena näyttönä rauduskoivun kasvunopeuden jalostuksen mahdollisuuksista. Useat jälkeläistöt ovat nyt selostetuissa kokeissa saavuttaneet rungon tilavuudessa yli 40 %:n paremmuuden kokeen keskiarvoon verrattuna. Näistä useat ovat valvottujen risteytysten avulla aikaansaatuja jälkeläistöjä. Näin voidaan rauduskoivun siemenen tuottajille osoittaa useita emo- ja isäpuita, joita keskenään risteyttämällä saadaan nopeakasvuisia jälkeläistöjä. Jotta rauduskoivun viljelymateriaalin geneettinen pohja säilyisi riittävän laajana, on varmasti tarkoituksenmukaista käyttää metsänviljelysiemenen tuottamiseen kaikkia nyt esiin seulottuja hyviä risteytysyhdistelmiä. Tämän lisäksi on jatkojalostuksessa käytettävä nyt aikaansaatuja hyviä jälkeläistöjä sekä valittava edelleen uusia plusmetsiä ja pluspuita. Alkuperäsiirroista, vapaapölytys- ja risteytysjälkeläistöjen kehityksestä sekä kaukoristeytyksistä nyt saadut tulokset selkeyttävät huomattavasti rauduskoivun jatkojalostuksessa käytettävien menetelmien valintaa.

CONTROL OF THE PINE CONE WEEVIL, *PISSODES VALIDIROSTRIS* GYLL. (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) IN PINE SEED ORCHARDS

ERKKI ANNILA

Seloste

KÄPYPIKIKÄRSÄKKÄÄN (*PISSODES VALIDIROSTRIS* GYLL., COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) TORJUNTA SIEMENVILJELMILLÄ

HELSINKI 1977

ISBN 951-40-0270-9
ISSN 0026-1610

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

ISBN 951-40-0270-9
ISSN 0026-1610
ODC 453

ANNILA, E. 1977. Control of the pine cone weevil, *Pissodes validirostris* Gyll. (Coleoptera: Curculionidae) in pine seed orchards. Seloste: Käpypikikärsäkkään, *Pissodes validirostris* Gyll., Curculionidae, torjunta siemenviljelmillä. Commun. Inst. For. Fenn. 90 (6): 1—14.

Experiments were carried out in *Pinus contorta* var. *latifolia* and *P. silvestris* stands to determine the best methods of controlling the damage caused by *Pissodes validirostris* and to obtain information about the possible phytotoxicity of some insecticides. Tanglefoot bands were placed round the stems of lodgepole pine to prevent the emerging weevils from climbing up the trees in early spring. In addition, the bases of the trees were sprayed with lindane or dimethoate to kill the weevils crawling down in the autumn or up in the spring. Cone bearing branches of Scots pine were sprayed with lindane, oxydemetonmethyl or dimethoate to determine if these insecticides have any harmful effects on the quality and quantity of the future seed crop.

Tanglefoot bands placed on all the trees in the stand reduced to some extent, the percentages of infested cones. Good results were obtained when the bases of the trees were treated with lindane both in the autumn and in the spring. The cone crop of the following year was also sound. Treatment with dimethoate was not as effective as with lindane. In the branches of Scots pine sprayed with dimethoate during the flowering period, the percentage of dropping conelets and empty seeds was very much higher than that in untreated branches. Other treatments did not have any detectable phytotoxic effects.

Tutkimuksessa selostetaan kontortamännyn kloonikokoelmissa ja koemetsiköissä sekä kotimaisen männyn siemenviljelmillä tehtyjä kokeita, joiden avulla pyrittiin löytämään käytäntöön soveltuva käpypikikärsäkkään tuhojen torjuntakeino ja selvittämään eräiden torjunta-aineiden mahdollista vaikutusta käpy- ja siemensadon laatuun ja määrään.

Kontortamäntyjen runkojen ympäri siveltyjen liimarenkaitten avulla voitiin kärsäkkäitten vioittamien käpyjen määrää vähentää jonkin verran. Ruiskuttamalla puitten tyvet lindaanilla syyskuun lopussa ja keväällä huhtikuun jälkipuoliskolla saatiin käpysato suojatuksi jokseenkin täydellisesti kärsäkkään tuhoilta. Vielä seuraavanakin vuotena käpysato oli täysin terve. Dimetoaattikäsittelyllä oli jossain määrin tuhoja vähentävä vaikutus mutta ei kuitenkaan käytännön kannalta riittävä.

Kukkimisaikana dimetoaatilla ruiskutetuissa kotimaisen männyn vartteissa oli emikukkien kariseminen samoinkuin tyhjien siementenkin määrä selvästi suurempi kuin kontrollissa. Sen sijaan kaksi viikkoa ennen tai jälkeen kukkimisen tehdyillä ruiskutuksilla (lindaani, metasystox, dimetoaatti) ei voitu havaita olleen mainittavaa vaikutusta käpy- ja siemensatoon.

CONTENTS

1. INTRODUCTION 5
2. MATERIAL AND METHODS 5
3. RESULTS AND DISCUSSION 6
4. REFERENCES 11
5. SELOSTE 13

1. INTRODUCTION

A number of studies in recent years have shown that cone and seed destroying insects are the most important pests of seed orchards, often causing considerable losses both in the quality and quantity of seed crop (Dinus and Yates 1975). Owing to the inherent characteristics of seed orchards, they often represent superior breeding places for some insects. One of such insect species is the pine cone weevil, *Pissodes validirostris* Gyll., which is not of great economic importance in natural pine stands. Injuries caused by the pine cone weevil in Scots pine seed orchards have been observed to be so serious (e.g. in the Soviet Union and Hungary) that studies have been carried out in order to find a useful control method (Smetanin 1970, Fodor 1973, Smetanin 1976).

Larvae of the pine cone weevil are also destructive to the cones of *Pinus pinea* L., usually injuring 70 to 90 % of the cones (Cuevas and Bachiller 1970). Preventive measures have been used to protect the cone crop in seed-production forests. Furthermore, the cones of Austrian pine (*Pinus nigra* Arnold) and lodgepole pine (*Pinus contorta* Loud. var. *latifolia* Engelm.) are susceptable to attack by *P. validirostris* (Krol and Michalski 1961), Canakcioglu 1969). *Pinus contorta* is one of the most promising of the exotic tree species that thrive in Nordic countries. Until recently seeds of lodgepole pine have been imported from Canada but orchards have already been established for seed production in Finland.

When carrying out the investigations into the biology of *Pissodes validirostris*, it was found that in Scots pine seed orchards damage can often be significantly reduced by several management measures (Annila 1975). However, sometimes it might be necessary to use chemical control to protect the cone and seed crop. Seed losses in lodgepole pine are frequently so severe that direct control methods are needed if the cone crop is to be harvested.

The present study was made in order to find a practical method for reducing weevil damage in *Pinus contorta* and to determine if the insecticides used have any phytotoxic effects on the quality and quantity if the future seed crop of *P. silvestris* L.

2. MATERIALS AND METHODS

Field investigations were carried out in clone colletions and experimental forests at Ruotsinkylä Experiment station, about 25 km north of Helsinki in the years 1971—1974.

Earlier studies on the biology of the pine cone weevil revealed that most adults crawl down the trunk in autumn and hibernate under the bark scales at the base of the tree or in the litter near the tree base. In the spring, the weevils crawl up the trunks when the temperature maximum exceeds 12°C. Considering these observations it seemed logical to see if it might be possible to prevent the weevils from climbing up the tree. This assumption was tested in the stands of lodgepole pine in two different ways. 1) Tanglefoot bands were placed round the stems at a height of 1 1/2 m at the end of April. 2) The bases of the trees were sprayed with lindane (0,4 % active ingredient) or dimethoate (0,5 %) up to a height of 2 m in the autumn, when the weevils move down to the ground, or in spring before emergence, or in both seasons. Insecticides were applied by means of a pack sack hand sprayer. The proportion of infested cones and the number of emergence holes per cone was determined the following autumn.

The phytotoxic effects of the insecticides were tested in Scots pine clone collection no. 10. Cone bearing branches were sprayed with three different insecticides — lindane (0,4 % active ingredient), oxydemetonmethyl (0,5 %), and dimethoate (0,5 %). Treatments were carried out on 21st May 1971 (about two weeks before the start of the pollination period), 3rd June (during the pollination period), and 21st June (about two weeks after the end of the pollination period). Since great variations have been observed in the quality and quantity of seed crops between trees (S a r v a s 1962), each application was carried out in the same clone. The number of conelets was counted before the treatment and about three months later. Cones were collected from treated and control branches in September the following year. Each cone was dissected and the number of normal and empty seeds counted.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Tanglefoot bands fixed on solitary trees did not significantly reduce the percentage of infested cones (Table 1). However, when all the trees in the stand were provided with bands the number of emergence holes per cone was much lower than in the untreated trees. A considerable part of the brood was still in the larval stage at the

Table 1. Effectiviness of tanglefoot bands and insecticides against *Pissodes validirostris*
Taulukko 1. Liimarenkeitten ja eräiden torjunta-aineiden tehokkuus käpypikikärsäkkään torjunnassa

Time of application *Käsittelyajankohta*	Stand no. *Metsikön n:o*	Treatment *Käsittely*	No. of trees *Puita kpl*	No. of cones *Käpyjä kpl*	Infested cones % *Vioittuneita käpyjä %*	No. of emergence holes/cone *Ulostuloreikiä/käpy*	Proportion of larvae in new generation (%) *Toukkia uudessa sukupolvessa (%)*
20. IV. 72 ..	65	tanglefoot *liimarengas*	10	236	78.9	1.05	19.2
» ..	7	»	15	385	51.7	0.36	55.0
27. IX. 72 ..	403	lindane	15	209	33.5	0.03	83.3
	—	control	10	207	76.4	1.10	10.4
20. IX. 73 } 22. IV. 74 }	167	lindane	31	265	4.9	0.07	8.4
(» ..	»	»	»	138	0.0	0.00	0.0)[1]
22. IV. 74 ..	7	dimethoate	15	751	40.5	0.46	63.5
22. IV. 74 ..	244	lindane	20	330	43.5	0.04	80.1
	—	control	10	222	88.9	1.03	6.6

[1]) Cone crop in 1975.
[1]) *Käpysato v. 1975.*

end of September when the cones were collected. Although the dispersal of *Pissodes validirostris* is relatively slow during one summer, the weevils make short flights from tree to tree so that the cone crop of the solitary trees can not be protected by tanglefoot bands. Better results can be obtained by providing all trees in the stand with bands. The relatively poor results may be due to the fact that the weevils do not try to cross the band and hence are not killed. Later in the summer, when the temperature is high enough they can fly to the crowns. The tanglefoot bands thus only postpone the beginning of the oviposition period.

The proportion of infested cones was clearly reduced when the bases of the trees were treated with lindane in the autumn. Furthermore, treatment strongly decreased the number of exit holes made by new adults. Most of the infested cones contained larvae which indicates that the development of the new generation was retarded. It is thus evident that the cones were attacked by weevils which had migrated from the surrounding stands later in the summer. Spring application with lindane gave about the same results as the autumn treatment, however, dimethoate was less effective. The best results were obtained when the trees were sprayed with lindane both in the autumn and in the spring. The cone crop of the following year was totally undamaged. Lindane is known to be effective also at relatively low temperatures.

It is known that a large number of the female strobili of *Pinus silvestris*, instead of developing into mature cones, dry out and drop to the ground soon after pollination. In the branches treated with dimethoate during the flowering period, the percentage of dropping conelets was much greater than that in untreated branches (Tables 2 and 3). In some clones, all the conelets had dropped before cone collection

Table 2. Research material used in the studies on the phytotoxic effects of insecticides
Taulukko 2. Torjunta-ainekokeissa käytetty koeaineisto

Clone no. *Kloonin n:o*	Date of treatment *Käsittelyajankohta*									Control *Käsittelemätön*		
	21 May *21. V.*			3 June *3. VI.*			21 June *21. VI.*					
	Number of female strobili, cones and seeds *Emikukkien, käpyjen ja siementen lukumäärä*											
K 28	48	41	691	49	27	575	22	20	639	29	24	295
K 29	42	37	669	44	26	391	56	43	593	22	11	128
E 639	33	21	492	31	20	454	40	31	592	14	11	158
E 976	29	13	287	30	13	269	47	38	735	16	12	83
E 1004	32	23	297	43	33	506	44	39	835	15	12	133
E 1005	54	47	997	41	35	789	61	48	975	23	21	228
E 1006	35	30	570	34	24	304	47	43	816	17	14	146
E 1007	55	54	874	42	28	839	46	46	1 078	13	10	336
E 1009	88	80	1 201	62	35	351	56	49	1 185	25	19	357
E 1010	56	42	722	50	29	588	67	57	849	28	18	277
Total *Yhteensä*	472	388	6 800	426	270	5 066	486	414	8 297	202	152	2 141

Table 3. Percentages of dropping conelets of *Pinus silvestris* in different treatments and control (lind. = lindane, oxyd. = oxydemetonmethyl, dim. = dimethoate)

Taulukko 3. Männyn pikkukäpyjen kariseminen torjunta-ainekäsittelyjen jälkeen (lind. = lindaani, oxyd. = oxydemetonmetyyli, dim. = dimetoaatti)

Clone no. *Kloonin n:o*	Date of treatment *Käsittelyajankohta*									Control *Käsittelemätön*
	21 May *21. V.*			3 June *3. VI.*			21 June *21. VI.*			
	lind.	oxyd.	dim.	lind.	oxyd.	dim.	lind.	oxyd.	dim.	
	Percentages of dropping conelets *Pikkukäpyjen karisemisprosentti*									
K 28	19.3	6.3	32.8	14.3	38.5	93.1	0.0	20.0	28.3	17.2
K 29	3.2	26.4	13.3	6.2	26.7	100.0	45.8	22.5	18.7	50.0
E 639	23.6	36.4	23.3	29.4	50.0	25.0	25.0	6.2	23.2	22.2
E 976	50.0	40.0	77.8	42.9	41.7	81.8	33.3	15.0	8.3	37.5
E 1004	40.0	40.0	22.7	17.7	29.6	71.6	18.2	23.1	32.3	40.0
E 1005	5.9	12.5	19.1	0.0	0.0	37.5	27.3	28.6	12.0	0.0
E 1006	0.0	22.3	23.1	25.0	22.2	38.5	0.0	17.4	26.4	17.6
E 1007	9.0	3.7	0.0	9.0	50.0	30.8	6.7	14.3	15.6	23.1
E 1009	2.6	6.2	17.7	26.9	20.0	100.0	16.7	0.0	22.2	24.0
E 1010	31.2	13.0	35.3	0.0	30.8	92.9	31.6	19.0	0.0	18.2
Average *Keskimäärin*	13.6	16.2	22.6	17.4	30.9	70.4	23.9	15.0	19.3	24.7
t-value *t-arvo*	1.116	0.987	0.034	1.342	0.635	3.771**	0.747	1.527	1.057	

* = 5 % level of significance, *merkitsevyystaso*
** = 1 % level of significance, *merkitsevyyttaso*
*** = 0.1 % level of significance, *merkitsevyystaso*

was carried out. According to Sarvas (1962) the dropping of conelets is mainly caused by insufficient pollination. A female strobili will wither if the proportion of unpollinated ovules exceeds 60 %. When the pollination rate is high the dropping of conelets remains below 25 %. In the present study the proportion of withered conelets was 24,7 % in the untreated branches. The destruction of conelets can also be induced e.g. by frost or wind (Sarvas 1962). Dimethoate as well as other insicticides have been found to inhibit pollen germination (Ritter and Miething 1967, Annila 1973); this may have the same effect as insufficient pollination.

In cones sprayed with dimethoate during the flowering period, the proportion of empty seeds was considerably higher than in other treatments or in the control (Table 4). Great differences were found between various clones. Sarvas (1962) reported that the average proportion of empty seeds is 25—31 %, but distinct variation can be found between trees and between years. He stated that empty seeds are primarily caused by the aborting of embryos and not by insufficient pollination. Since the fertilization of ovules and embryo development takes place in the second summer it does not seem likely that dimethoate would have had any effect on the aborting of embryos. On the other hand, it is possible that dimethoate has killed the nucleus of the pollen tube which penetrates the nucellus tissue of an ovule soon after pollination.

Table 4. Percentages of empty seeds in the cones of *Pinus silvestris* sprayed with different insecticides
Taulukko 4. Tyhjien siementen osuus torjunta-aineilla käsitellyissä männynkävyissä

Clone no. *Kloonin n:o*	Date of treatment *Käsittelyajankohta*									Control *Käsittelemätön*
	21 May *21. V.*			3 June *3. VI.*			21 June *21. VI.*			
	lind.	oxyd.	dim.	lind.	oxyd.	dim.	lind.	oxyd.	dim.	
	Percentages of empty seeds *Tyhjien siementen prosenttinen osuus*									
K 28	33.6	41.5	33.2	25.2	34.3	88.5	19.3	13.2	12.7	41.4
K 29	45.2	28.3	27.1	16.8	10.8	52.5	27.2	21.6	22.5	28.1
E 639	46.5	80.5	42.1	69.9	48.3	47.2	62.6	83.0	36.1	60.1
E 976	69.0	66.9	73.6	27.1	43.1	23.4	58.8	25.6	35.9	36.1
E 1004	74.1	66.7	57.9	35.1	36.2	54.4	47.7	47.7	35.6	31.6
E 1005	41.4	21.8	35.5	29.9	30.3	36.6	40.4	62.8	44.8	33.8
E 1006	67.0	22.7	37.4	40.0	40.0	33.0	30.1	72.2	64.4	39.7
E 1007	13.1	18.6	14.1	64.2	79.8	60.9	15.9	14.7	16.4	17.0
E 1009	22.7	35.5	19.1	30.2	41.4	45.2	11.4	16.0	17.5	26.9
E 1010	37.5	20.8	36.7	27.4	22.2	50.0	42.5	25.9	9.4	20.2
Average *Keskimäärin*	39.7	34.7	31.4	38.5	37.5	47.5	33.3	38.6	29.7	31.2
t-value *t-arvo*	1.559	0.940	0.221	1.799	1.546	2.656**	1.325	1.590	1.239	

In the Soviet Union and Hungary promising results have been obtained in the control of adult weevils by treating the grafts in seed orchards with different chemicals (phenate, phosalone, amidithion, dichlorvos, malation, DDT) during the flowering period (Smetanin 1970, Fodor 1973, Saksons 1973). However, against larvae systemic insecticides were required. Good weevil control has also been achieved in Spain by dusting the trees in the seed-production areas of *Pinus pinea* with DDT and lindane in the spring (Baudin 1963, Romanyk and Bachiller 1965, Bachiller 1966, Cuevas and Bachiller 1969, 1970). The main disadvantage of treating the foliage with insecticides is that other insects, among them weevil parasites and predators, may be killed.

The life habits of several North-American *Pissodes*-species are quite similar to those of *P. validirostris*. Some of these weevils (*P. strobi* Peck, *P. sitchensis* Hopk.) are destructive to the terminal shoots of young conifers. DDT, lindane and dieldrin give good protection against weevils when applied to the shoots early in the spring before the onset of oviposition (Belyea and Sullivan 1956, Johnson 1965, Silver 1968, Sundaram et al. 1972). A single treatment protects the trees for four years. However, these chemicals are not effective against the larvae since they feed in the inner bark of the shoot (Connola et al. 1955). Spring application of systematic insecticides (oxydemetonmethyl, dicrotophos) carried out after egg-laying provides control against *P. sitchensis* for one season (Johnson and Zingg 1966, 1968). The concentration of the chemicals must be at least 1 % active ingredient. Application of granular insecticides (endrin, heptaclor, aldicarb)

to the ground litter has been successfully used to control the weevil population during the hibernation period (Hastings 1956, Nichols 1968, Kerr 1971).

Considering the literature cited and the results obtained in the present study the damage caused by the pine cone weevil can be easily controlled by spraying the bases of the trees or grafts twice a year with an insecticide which has a relatively long-term effect. The best time of application in the autumn is the end of September when the adult weevils crawl down the stem for overwintering, and in the spring in late April just before the emergence of the weevils from their hibernation sites. It is important that all trees in the stand or seed orchard should be sprayed because the weevils can crawl up the untreated trees and fly to neighbouring trees. Since a pine cone takes two years to develop, decisions about cone collection and of any future need for control can be made already a year before cone harvesting.

Several advantages can be obtained by spraying the bases of the trees as opposed to treating the entire foliage. The height of the tree is not a problem because tall trees can be treated as easily as young ones. It is evident that spraying the bases has no harmful effects on the parasites which are of great importance in the natural control of the pine cone weevil. Parasites overwinter in the cones and fly in mid- and late-summer. Furthermore, insecticides are not applied during the flowering period when female strobili and pollen grains are sensitive to any kind of disturbance.

4. REFERENCES

ANNILA, E. 1973. Chemical control of spruce cone insects in seed orchards. Seloste: Kuusen käpy- ja siementuholaisten kemiallisesta torjunnasta siemenviljelmillä. Commun. Inst. For. Fenn. 78 (8): 1—25.

—»— 1975. The biology of *Pissodes validirostris* Gyll. (Col., Curculionidae) and its harmfulness, especially in Scots pine seed orchards. Seloste: Käpypikikärsäkkään (*Pissodes validirostris* Gyll.) (Col., Curculionidae) biologia ja vahingollisuus erityisesti männyn siemenviljelmillä. Commun. Inst. For. Fenn. 85 (6): 1—95.

BACHILLER, P. 1966. Estudio sobre la biologia y tratamientos del *Pissodes validirostris* Gyll. Summary. Bol. Servicio Plagas For. 9: 133—136.

BAUDIN, F. 1963. Tratamientos experimentales contra las plagas del fruto de *Pinus pinea* L. en Valladolid. Summary. Bol. Servicio Plagas For. 6: 98—102.

BELYEA, R. M. & SULLIVAN, C. R. 1956. The white pine weevil: a review pf current knowledge. For. Chron. 32: 58—67.

CANAKCIOGLU, H. 1969. Insect damage on cones and seeds of forest trees in Turkey. Istanbul Univ. Orman Fak. Dergisi 19 A (2): 82—88.

CONNOLA, D. P., McINTYRE, T. & YOPS, C. J. 1955. White pine weevil control by aircraft spraying. J. For. 53: 889—891.

CUEVAS, P. & BACHILLER, P. 1969. Sintesis de los diferentes metodos utilizados para la proteccion de pinon de *P. pinea*. Summary. Bol. Servicio Plagas For. 12: 77—87.

—»— 1970. Estudio de los insectos que danan la produccion frutera del pino pinonero y metodos utilizados para su combate. Summary. Bol. Servicio Plagas For. 13: 227—231.

DINUS, R. J. & YATES, H. O. III. 1975. Protection of seed orchards. In: FAULKNER, R., Seed orchards. For. Comm. Bull. 54: 58—71. London.

FODOR, S. 1973. Az erdeifenyö tobozt kárositó rovarok elleni vegyszeres védekezési kisérlet elsö eredményei. Summary: First results of the chemical protection trial against insects injuring the Scotch pine's cones. Az Erdö 22: 279—282.

HASTINGS. A. R. 1956. Granulated Endrin for white pine weevil control during hibernation. J. Econ. Ent. 49: 878.

JOHNSON, N. E. 1965. Distribution of Sitka spruce weevil eggs on leaders of opengrown spruce in southwest Washington. Weyerhaeuser For. Paper 3: 1—11.

JOHNSON, N. E. & ZINGG, J. G. 1968. Field tests of systemic insecticides for the control of Sitka-spruce weevil. J. Econ. Ent. 61: 1650—1652.

KERR, T. W., Jr. 1971. Aldicarb for control of the white pine weevil. J. Econ. Ent. 64: 771—772.

KROL, S. & MICHALSKI, J. 1961. Zaobserwowane szkodniki owadzie *Pinus contorta* var. *latifolia* Engelm. w polsce i ich niektore pasozyty. Referat: Die in Polen beobachteten Insektenschädlinge von *Pinus contorta* var. *latifolia* Engelm. und einige ihrer parasiten. Folia For. Polon. (Leśn.) 6: 127—140.

NICHOLS, J. O. 1968. White-pine weevil control in plantations with heptachlor granules. J. Econ. Ent. 61: 1543—1546.

RITTER, G. & MIETHING, E. 1967. Über die Wirkung von Pflanzenschutzmitteln auf die Pollenkeimung bei Kiefer und Fichte. Arch. Pfl.schutz 3: 131—141.

ROMANYK, N. & BACHILLER, P. 1965. Excellentes resultados de la campana contra el *Pissodes validirostris* Gyll., plaga de las pinas de *Pinus pinea* L. Summary. Bol. Servicio Plagas For. 8: 7—14.

SAKSONS, J. 1973. The entomofauna of the generative organs of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* Karst.) in the Latvian SSR. In: SPALVINS, Z., Zachchita lesa, 29—52. Riga. (Rev. Appl. Ent. A 63: 73).

SARVAS, R. 1962. Investigations on the flowering and seed crop of *Pinus silvestris*. Seloste: Tutkimuksia männyn kukkimisesta ja siemensadosta. Commun. Inst. For. Fenn. 53 (4): 1—198.

SILVER, G. T. 1968. Studies on the Sitka spruce weevil, *Pissodes sitchensis*, in British Columbia. Canad. Ent. 100: 93—110.

SMETANIN, A. N. 1970. Entomofagi na lesosemennyh ucastkah. Zascita Rastenij 15 (1): 48.

SMETANIN, G. M. 1976. Rannjaja diagnostika povrezdenij sciscek sosnovoj smolevkoj. Lesnoe Hozjaistvo 12: 76—77.

SUNDARAM, K. M. S., SMITH, G. G., O'BRIEN, W. & BONNET, D. 1972. A preliminary report on the persistence of methoxychlor for the control of white pine weevil in plantations. Inform. Rep. Chem. Contr. Res. Inst. CC-X-31: 1—27. (For. Abstr. 34: 10.)

5. SELOSTE

Tutkimuksen tarkoituksena on kehittää käytäntöön soveltuva torjuntakeino käpypikikärsäkkään tuhojen vähentämiseksi erityisesti kontortamännyssä, jossa suurin osa käpy- ja siemensadosta menetetään vuosittain hyönteistuhojen seurauksena. Tutkimuksen toisena tavoitteena on selvittää, onko torjunta-ainekäsittelyllä mahdollisesti haitallisia vaikutuksia kotimaisen männyn käpy- ja siemensatoon, jos ruiskutukset hyönteistuhoja vastaan tehdään kukkimisaikana tai sitä lähellä olevana ajankohtana.

Tutkimukset tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen Ruotsinkylän kokeilualueessa Tuusulassa vuosina 1971—1974.

Käpypikikärsäkkään biologiaa koskevissa aikaisemmin tehdyissä tutkimuksissa todettiin, että aikuiset kärsäkkäät talvehtivat puitten tyvillä kaarnanrakosissa tai maassa lähellä puun tyveä, joista paikoista ne lähetvät keväällä kiipeämään runkoa pitkin ylös oksistoon munimaan käpyihin. Tämä havainto antoi aiheen olettaa, että kärsäkkäät voitaisiin estää liimarenkaitten avulla kiipeämästä ylös ja siten vähentää niiden tekemää vahinkoa. Asian selvittämiseksi tehtiin kokeita kahdessa eri kontortamännyn metsikössä. Toisessa metsikössä vain osa puista varustettiin liimarenkailla toisessa sen sijaan kaikki. Syksyllä kerättyjen käpynäytteiden perusteella saatettiin todeta, ettei edellisessä tapauksessa tuhoja voitu mainittavasti vähentää. Tämä johtui todennnäköisesti siitä, että kärsäkkäät olivat lentäneet viereisistä käsittelemättömistä puista liimarenkailla varustettuihin puihin. Sen sijaan tuhot olivat jonkin verran vähentyneet, kun kaikissa metsikön puissa oli liimarenkaat. Liimarenkailla saatu suhteellisen vaatimaton tulos johtuu ilmeisesti siitä, etteivät renkaat tapa kärsäkkäitä vaan ainoastaan estävät niitä kiipeämästä puuhun. Myöhemmin kesällä, kun lämpötila nousee riittävän korkeaksi, lentävät aikuiset hyönteiset puitten latvuksiin.

Käpypikikärsäkkään tekemiä tuhoja pyrittiin estämään myös ruiskuttamalla puitten tyvet noin 2 metrin korkeudelle torjunta-aineilla syksyllä tai keväällä tai molempina vuodenaikoina. Ruiskutukset tehtiin syyskuun lopussa, jolloin kärsäkkäät laskeutuvat runkoa pitkin alas talvehtimispaikkoihin, ja keväällä huhtikuun jälkipuoliskolla juuri ennenkuin kärsäkkäät alkavat kiivetä jälleen ylös oksistoon. Käytetyt aineet olivat lindaani ja dimetoaatti, joista edellinen antoi varsin hyviä tuloksia, kun sitä ruiskutettiin sekä syksyllä että keväällä. Sen sijaan dimetoaattikäsittelyllä ei ollut käytännön kannalta riittävän tehokasta vaikutusta. Lindaanilla saatu parempi tulos johtuu ilmeisesti sen pitempiaikaisesta vaikutuksesta ja suhteellisen hyvästä tehosta myös alhaisissa lämpötiloissa.

Torjunta-aineiden mahdollisia haitallisia vaikutuksia männyn käpy- ja siemensatoon tutkittiin ruiskuttamalla männyn vartteiden oksia kolmella eri torjunta-aineella, lindaanilla, metasystoksilla ja dimetoaatilla kolmena eri ajankohtana: noin kaksi viikkoa ennen männyn kukkimista, kukkimisaikana ja kaksi viikkoa sen jälkeen. Syksyllä suoritetussa laskennassa todettiin, että kukkimisaikana dimetoaatilla käsitellyissä oksissa karisseiden pikkukäpyjen osuus oli merkittävästi suurempi kuin käsittelemättömissä tai muina aikoina tai muilla aineilla ruiskutetuissa oksissa. Samoin seuraavan vuoden syksyllä kerätyissä käpynäytteissä oli tyhjien siementen suhteellinen osuus selvästi suurempi kukkimisaikana dimetoaatilla ruiskutetuissa kävyissä kuin muissa kävyissä.

Puitten tyvien ruiskuttamista suhteellisen pitkään vaikuttavalla torjunta-aineella syksyllä ja keväällä voidaan pitää käyttökelpoisena käpypikikärsäkkään torjuntakeinona siemenviljelmillä ja

siemenkeräysmetsiköissä silloin, kun erilaisilla hoidollisilla toimenpiteillä ei voida tuhoja riittävästi vähentää. Menetelmää on helppo soveltaa minkäkokoisissa metsiköissä tahansa ja torjunta-aine- ja työkustannukset muodostuvat vähäisiksi. Kemikaalien levitys on pistekohtaista ja tapahtuu ajankohtina, jolloin muiden hyönteisten, esim. käpypikikärsäkkään loisten, joutuminen kosketukseen torjunta-aineen kanssa on epätodennäköistä. Koska männynkävyn kehitys on kaksivuotinen, voidaan päätös käpysadon korjaamisesta ja torjuntatoimenpiteiden tarpeellisuudesta tehdä jo vuotta ennen käpyjen keräämistä. Menetelmän etuna voidaan pitää myös sitä, ettei käsittelyä tehdä puiden kukkimisaikana, jolloin siitepölyhiukkaset ja emikukat ovat herkkiä ulkoisille häiriöille.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*
Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17

Ylijohtaja — *Director:* Holopainen, Viljo, professori, MMT, *Professor, DF*
Tiedotuspäällikkö — *Information officer:* Heiramo, Tuomas, VTM, *M.Pol.Sc.*
Toimittaja — *Editor:* Virmala, Olavi, MMK, *MF*

MAANTUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE*
Professori — *Professor:* Viro, Pentti, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Mälkönen, Eino, MMT, *DF*

SUONTUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF PEATLAND FORESTRY*
Professori — *Professor:* Huikari, Olavi, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Paavilainen, Eero, MMT, *DF*

METSÄNHOIDON TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SILVICULTURE*
Professori — *Professor:* Sirén, Gustaf, MMT, *DF*
Erikoistutkijat — *Senior research specialists:* Leikola, Matti, MMT, *DF*, Lähde, Erkki, MMT, *DF*

METSÄNJALOSTUKSEN TUTKIMUSOSASTO —
DEPARTMENT OF FOREST GENETICS
Professori — *Professor:* Hagman, Max., MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Koski, Veikko, FT, *Ph.D*

METSÄNSUOJELUN TUTKIMUSOSASTO —
DEPARTMENT OF FOREST PROTECTION
Metsäpatologia — *Forest Pathology:*
Professori — *Professor:* Kallio, Tauno, MMT, *DF*
Metsäeläintiede — *Forest Zoology:*
Professori — *Professor:* Juutinen, Paavo, MMT, *DF*

METSÄNARVIOIMISEN TUTKIMUSOSASTO —
DEPARTMENT OF FOREST INVENTORY AND YIELD
Metsäinventointi — *Forest Inventory:*
Professori — *Professor:* Kuusela, Kullervo, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Tiihonen, Paavo, MMT, *DF*
Puuntuotos — *Forest Yield:*
Professori — *Professor:* Vuokila, Yrjö, MMT, *DF*

METSÄTEKNOLOGIAN TUTKIMUSOSASTO —
DEPARTMENT OF FOREST TECHNOLOGY
Puuntutkimus — *Utilization of Forest Products:*
Professori — *Professor:* Heiskanen, Veijo, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Kärkkäinen, Matti, MMT, *DF*
Metsätyötiede — *Forest Operations:*
Professori — *Professor:* Hakkila, Pentti, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Harstela, Pertti, MMT, *DF*

METSÄEKONOMIAN TUTKIMUSOSASTO —
DEPARTMENT OF FOREST ECONOMICS
Kansantaloudellinen metsäekonomia — *Social Economics of Forestry:*
Professori — *Professor:* Heikinheimo, Lauri, MMT, *DF*
Liiketaloudellinen metsäekonomia — *Business Economics of Forestry:*
Professori — *Professor:* Hämäläinen, Jouko, MMT, *DF*

MATEMAATTINEN OSASTO — *DEPARTMENT OF MATHEMATICS*
Professori — *Professor:* Seppälä, Risto, VTT, *D.Pol.Sc.*

KOKEILUALUETOIMISTO — *EXPERIMENTAL FOREST OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Luoma, Kauko, ylimetsänhoitaja, *BF*

HALLINTOTOIMISTO — *ADMINISTRATION OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Sohkanen, Kari, VT, *LL.B*

ISSN 0026-1610