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

67

HELSINKI 1970

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

67

HELSINKI 1970

TURPEESTA TAPAHTUVAAN HAIHDUNTAAN VAIKUTTAVISTA TEKIJÖISTÄ

TANELI JUUSELA, SEPPO KAUNISTO JA SEPPO MUSTONEN

Summary in English

ON FACTORS AFFECTING EVAPOTRANSPIRATION FROM PEAT

HELSINKI 1969

Helsinki 1969. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Avosoiden metsäojitus on viime aikoina lisääntynyt huomattavasti. Tästä on ollut luonnollisena seurauksena myös niiden metsittämistarpeen lisääntyminen. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosasto ja maataloushallituksen insinööriosasto suorittavat parhaillaan yhteistyönä tutkimusta, jonka tarkoituksena on selvittää erilaisten turpeen käsittelyjen vaikutusta männyn ja kuusen kylvötaimien syntymiseen ja alkukehitykseen. Tämän yhteydessä on katsottu erityisen tarpeelliseksi tutkia myös turpeen vesitalouteen liittyviä kysymyksiä. Tässä julkaisussa esitetään turpeesta tapahtuvaa haihtumista koskevan tutkimuksen tulokset.

Maataloushallituksen insinööriosaston osastopäällikkö yli-insinööri Matti Wäre on ollut tutkimuksen alkuun panevana voimana ja myöhemminkin monin tavoin edesauttanut neuvoillaan ja toiminnallaan tutkimuksen toteuttamisessa. Professori Olavi Huikari ja maat. ja metsät. lisensiaatti Kimmo Paarlahti ovat myös antaneet varteen otettavia neuvoja tutkimuksen suunnittelussa. Aineiston matemaattisessa käsittelyssä ovat auttaneet mh. Heikki Ravela ja valt. yo. Jaakko Simpanen.

Professorien Johan Hårdin ja Leo Heikuraisen suosiollisella avustuksella olemme saaneet käyttöömme osan Yliopiston kasvihuoneesta Viikissä. Näytteenottolaitteet ja allasrakenteet on valmistettu Helsingin maanviljelysinsinööripiirin konekorjaamolla Järvenpäässä työnjohtaja Erkki Raejärven johdolla. Turvenäytteiden muokkaus on suoritettu valtion teknillisen tutkimuslaitoksen turve- ja öljylaboratoriossa Otaniemessä ja turvenäytteiden esikuivatus maatalouskoneiden tutkimuslaitoksessa. Metsäntutkimuslaitoksen Pohjois-Satakunnan tutkimusaseman ja metsähallituksen Parkanon hoitoalueen henkilökunta on avustanut turvenäytteiden otossa. Käsikirjoituksen ovat tarkastaneet professorit Olavi Huikari ja Risto Sarvas.

Kaikille edellä mainituille sekä muille tutkimuksen toteuttamisessa avustaneille esitämme parhaat kiitoksemme.

Helsingissä, maaliskuussa 1969.

Taneli Juusela *Seppo Kaunisto* *Seppo Mustonen*

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1. Johdanto 7
2. Tutkimusaineisto 9
   21. Tutkimusmenetelmälle asetetut vaatimukset 9
   22. Turvenäytteiden otto 9
   23. Koeolosuhteet ja havaintojen suoritus 12
   24. Turpeen kosteuden määritys 17
3. Tutkimussuunnitelma ja tulosten käsittely 19
4. Tulokset 21
   41. Ilmastotekijöiden vaikutus haihduntaan 21
   42. Turvelajin ja pohjaveden syvyyden vaikutus haihduntaan 24
   43. Turpeen kosteuden vaikutus haihduntaan 26
   44. Ilmastotekijöiden, pohjaveden syvyyden ja turpeen kosteuden vaikutus haihduntaan 31
   45. Muokkauksen vaikutus haihduntaan 35
5. Yhteenveto 39

Kirjallisuusluettelo 41

Summary in English 44

1. JOHDANTO

Maasta tapahtuvaa haihduntaa on tutkittu verrattain paljon ja siihen vaikuttavat perustekijät tunnetaankin sen vuoksi varsin hyvin. Useat tutkijat (Nielsen 1962, Pelton 1964, Baier and Robertson 1965, Konstantinov 1966, Virta 1966, Ward 1967) ovat osoittaneet, että haihdunta, runsaasti energiaa sitovana tapahtumana, korreloi erittäin kiinteästi auringon säteilynä maahan saapuvan energian kanssa. Auringon säteilystä riippuvina tekijöinä myös ilman lämpötila ja kyllästysvajaus selittävät varsin hyvin — joskin auringon säteilyä huonommin — haihdunnan vaihtelua (vrt. esim. Miller 1953, Kusin 1936).

Käytettävissä olevan energian lisäksi on haihdunnan todettu olevan riippuvainen myös maan kosteudesta (Whitney and Cameron 1904, Widtsoe 1909 ja 1914, Fortier 1907, Harris and Robinson 1916, Veihmeyer ja Brooks 1954). Haihdunta vähenee maan kuivuessa. Ilmeisesti kuitenkin vain verrattain ohuen pintakerroksen kosteudella on merkitystä (Ward 1967).

Useat tutkijat ovat todenneet maan kosteuden olevan kiinteästi riippuvainen pohjaveden syvyydestä (Juusela 1945, Haude 1953, Eggelsmann 1957, Paavilainen 1963, Heikurainen ym. 1964 ja Päivänen 1968). Pohjaveden syvyyden onkin havaittu varsin hyvin kuvaavan myös maasta tapahtuvaa haihduntaa (Keen 1927, Parshall 1930, Veihmeyer 1938, Stålfelt 1944, Wäre 1947, Veihmeyer and Brooks 1954, Ladefoged 1956, Tanner 1957, Romanov 1956, Todd 1959, Molchanov 1963, Heikurainen 1964 ja 1967, Virta 1966, Paavilainen ja Virrankoski 1967).

Mielenkiintoisen lisän maasta tapahtuvaan haihduntaan vaikuttavien tekijöiden selvittelyssä on tuonut King (1910) peltoviljelyä koskevassa tutkimuksessa tekemä havainto, että maan pinnan muokkaus vähentää haihduntaa ratkaisevasti. Nykyään muokkaus on myös metsätaloudessa yleistymässä käytännön toimenpiteeksi. Varsinkin soiden muokkauksella saattaa tällöin olla merkitystä myös kasvualustan vesitalouden järjestelyn kannalta.

Pääosa haihduntaa koskevasta tutkimustyöstä näyttää kohdistuneen mineraalimaasta tapahtuvan haihdunnan selvittelemiseen. Vaikka myös turve haihduttavana alustana on ollut varsin pitkään tutkijoiden mielen-

kiinnon kohteena, on kuitenkin vain harvoja tutkimuksia, joissa on tarkasteltu useampien edellä mainittujen tekijäin samanaikaista vaikutusta turpeesta tapahtuvaan haihduntaan. Sellaisia tutkimuksia, joissa kaikkia edellä esitettyjä haihduntaan vaikuttavia tekijöitä olisi tarkasteltu samanaikaisesti ei kirjallisuudesta ole löytynyt.

Nyt esiteltävän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää nimenomaan turpeesta tapahtuvaan haihduntaan vaikuttavia tekijöitä. Yleisten ilmastotekijöiden, auringon säteilyn, ilman lämpötilan ja kyllästysvajauksen ohella on kiinnitetty huomiota myös turvelajin, pohjaveden syvyyden (= pohjaveden pinnan etäisyys turpeen yläpinnasta), turpeen kosteuden ja turpeen pinnan muokkauksen merkitykseen haihdunnassa.

Tutkimus on suoritettu astiakokeina kasvihuoneessa. Tästä on ollut se etu, että koejäsenet on saatu verrattain homogeeniseen ympäristöön, jossa koetulokseen vaikuttavat tekijät ovat olleet, elleivät täysin säädeltävissä, niin ainakin helposti tarkkailtavissa. Lisäksi koetta on voitu jatkaa vielä myöhään syksyllä.

Haihduntaa on tarkkailtu pelkästään pohjaveden käytön kannalta. Turvetta ei sen vuoksi ole kasteltu pinnalta käsin haihtumiskokeen aikana.

Haihdunnalla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa sitä vesimäärää millimetreinä aikayksikköä kohden ilmaistuna, mikä kapillaarisesti ja muulla tavoin on noussut pohjavedestä ja haihtunut turpeesta ja pintakasvillisuuden kautta ilmaan ja mikä on jouduttu lisäämään pohjaveteen sen syvyyden pitämiseksi vakiotasolla.

2. TUTKIMUSAINEISTO

21. Tutkimusmenetelmälle asetetut vaatimukset

Turpeesta tapahtuvaa haihduntaa on tässä työssä tutkittu korvaamalla sen aiheuttama pohjaveden aleneminen vastaavasti vettä lisäämällä. Perusedellytyksenä tämänkaltaisessa tutkimuksessa on, että koesuunnitelmaan sisältymättömät tekijät eivät pääse häiritsemään kokeessa käytettävässä turpeessa tapahtuvaa kapillaarista veden nousua. Kokeessa käytettäville turvenäytteille on asetettu seuraavat perusvaatimukset:

1. Koetta varten on saatava mahdollisimman häiriintymättömiä turvenäytteitä luonnontilaisesta suosta.
2. Turvenäyte on saatava yhtenäisenä kappaleena aina 70—80 cm:n syvyyteen saakka.

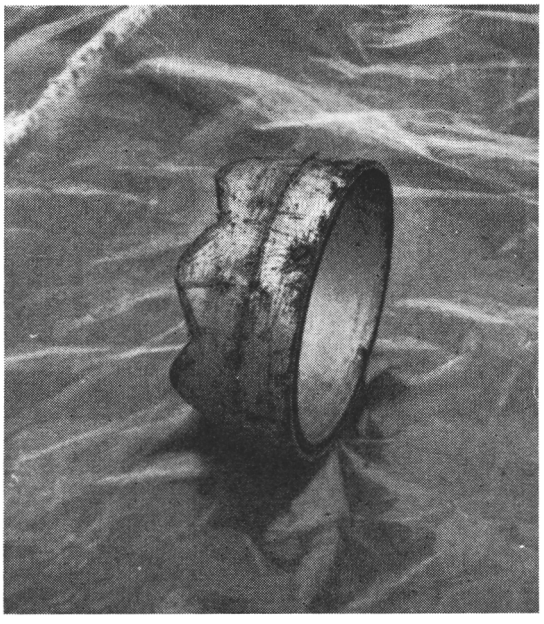
Muun koejärjestelyn kannalta on katsottu tarpeellisiksi seuraavat seikat:

3. Täytyy olla mahdollisuus pohjaveden lisäämiseen turvenäytteisiin muulla tavoin kuin pintakastelun avulla.
4. Haihtumista vastaavan pohjaveden lisäyksen on oltava helposti mitattavissa.
5. Koejäsenet on saatava kasvihuoneessa ulkoisten olosuhteiden puolesta mahdollisimman homogeeniseen ympäristöön.

Edellä esitettyjen vaatimusten toteuttamiseksi on tutkimuksessa jouduttu kehittämään koemenetelmiä, joita seuraavassa selvitetään lähemmin.

22. Turvenäytteiden otto

Tutkimusta varten on otettu ns. häiriintymättömiä turvenäytteitä luonnontilaisesta suosta. Tätä varten on kehitetty kuvissa 1 ja 2 esitetty näytteenottolaite. Sen runkona on polyteenimuoviputki (näytelieriö), jonka ulkohalkaisija on n. 200 mm ja seinämän vahvuus n. 5 mm. Näytelieriön alapäähän on kiinnitetty ontto metallilieriö (kuva 1). Tähän on sorvattu ura, johon muoviputken pää sopii. Metallilieriö, jota seuraavassa nimitetään kärkikappaleeksi, on ulkosyrjältään terotettu siten, että sen leikkaava reuna



Kuva 1. Näytteenottolaitteen aaltomaiseksi teroitettu leikkausterä (kärkikappale).
Fig. 1. The wavy cutting edge of the sampler.



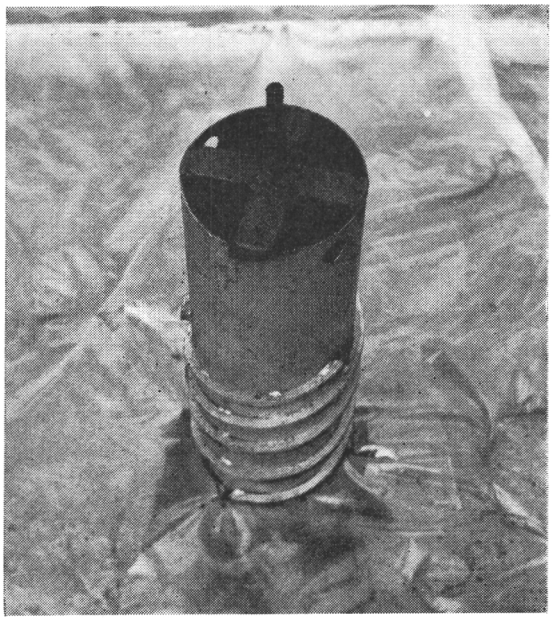
Kuva 2. Yleiskuva turvenäytteiden otosta.
Fig. 2. General view of sampling.

on samalla kärkikappaleen sisäreuna. Terä on muotoiltu aaltomaiseksi kuvan 1 osoittamalla tavalla. Leikkaustehon lisäämiseksi muoviputken yläpäähän on kiinnitetty vääntövarret edellä esitetyn tapaisella menetelmällä (kuva 2).

Näytteenottolaite tunkeutuu turpeeseen verrattain helposti, kun sitä kierretään edestakaisin pystyakselinsa ympäri samalla alaspäin painaen. Ohuet puun juuret eivät haittaa turvenäytteen ottoa. Kun näytteenottolaite on saatu vääntövarsia myöten painumaan turpeeseen, katkaistaan turvepatsas näytteenottolaitteen alapuolelta viereen kaivetusta kuopasta käsin. Sen jälkeen näytteenottolaite turvenäytteineen irroitetaan ympäröivästä turpeesta ja näytelieriön alapää suljetaan muoviastialla kuljetuksen ajaksi.

Osa näytteistä on otettu n. 20—30 cm:n syvyyteen routautuneesta turpeesta. Routakerroksen puhkaisemiseksi on rakennettu erityinen kairalaite (kuvat 2 ja 3), joka perustuu J u u s e l a n (1945) samantapaiseen routautuneesta kivennäismaasta tapahtuvaa näyteenottoa varten rakentamaan laitteeseen. Voimanlähteenä on käytetty moottorisahaa, jolloin on saatu suuri kierrosnopeus. Tällä tavoin kaira tunkeutuu muutamassa sekunnissa jopa 25—30 cm syvän routakerroksen lävitse (kuva 2). Haittana on se, että näyte kovilla pakkasilla jäätyy helposti kairaan kiinni ja yleensä tällöin katkeaa välittömästi routakerroksen alapuolelta.

Turvenäytteet tätä tutkimusta varten otettiin Parkanosta toukokuun alkupäivinä 1967 edellä esitetyllä tavalla. Näytteitä otettiin kolmelta eri nevatyypiltä, rahkanevalta (*Sphagnum fuscum*-valtainen), lyhytkortiselta nevalta (*Scirpus caespitosus*-valtainen) ja suursarakalvakkanevalta (*Molinia coerulea*-valtainen). Rahkanevan pintakerros oli vielä jonkin verran roudassa, joten siinä jouduttiin käyttämään näytteenottokairaa. Ilma oli kuitenkin jo niin lämmintä, ettei roudassa oleva turvepatsas tarttunut kairaan kiinni,



Kuva 3. Routakerroksen puhkaisemiseksi tehty kairalaite.
Fig. 3. Borer for penetration through soil frost.

vaan jäi suohon paikalleen. Näin ollen ei tapahtunut kokeen kannalta haitallista kapillaariyhteyksien katkeamista. Muut näytteenottopaikat eivät olleet roudassa. Näytteiden alapää suljettiin muoviastialla siten, että vesi pääsi valumaan turpeesta astian reunojen yli. Muoviastian tarkoituksena oli estää ulkopuolisten aineiden, kuten hiekan, pääsy näytteisiin kuljetuksen aikana.

Näytteet kuljetettiin pystyasennossa Helsinkiin Viikkiin yliopiston kasvihuoneelle, jossa tutkimus suoritettiin 10. 6.—24. 11. 1967 välisenä aikana. Tutkimuksen haihduntaa käsittelevä osa aloitettiin 25 päivänä heinäkuuta 1967.

23. Koeolosuhteet ja havaintojen suoritus

Maastossa turvenäytteet on otettu jonkin verran vastaavia näytteenottolieriöitä pitempinä. Kasvihuoneessa on turvenäytteet tasattu näytteenottolieriöiden pituisiksi niin, että turvenäytteen yläpinta on jäänyt koskemattomaksi. Tämän jälkeen on turvenäytteiden yläosasta leikattu pois koesuunnitelman edellyttämää muokkaussyvyyttä vastaava turvepatsas (5, 10 tai 20 cm korkea näytelieriön yläpään tasosta mitattuna). Muokkaus on suoritettu siten, että em. turvekerrokset kukin erikseen turvelajeittain on rikottu turvemurskaksi hakkurilla valtion teknillisen tutkimuslaitoksen turve- ja öljylaboratoriossa. Turpeen rikkominen on suoritettu tuoreena. Koneen rakenteesta johtuen turve ei ole vatkautunut, vaan se on pikemminkin tullut revityksi hienoksi murskaksi. Koska turpeen tilavuus muokakatessa on pienentynyt, on Parkanosta tuotu näytteenottopaikoilta suon pintaturvetta vastaavan paksuisina kerroksina ja rikottu yhdessä näytteistä saadun turpeen kanssa. Näin on pyritty saamaan turvelajeittain kutakin muokkaussyvyyttä vastaava mahdollisimman tasa-aineinen turvemurskaseos.

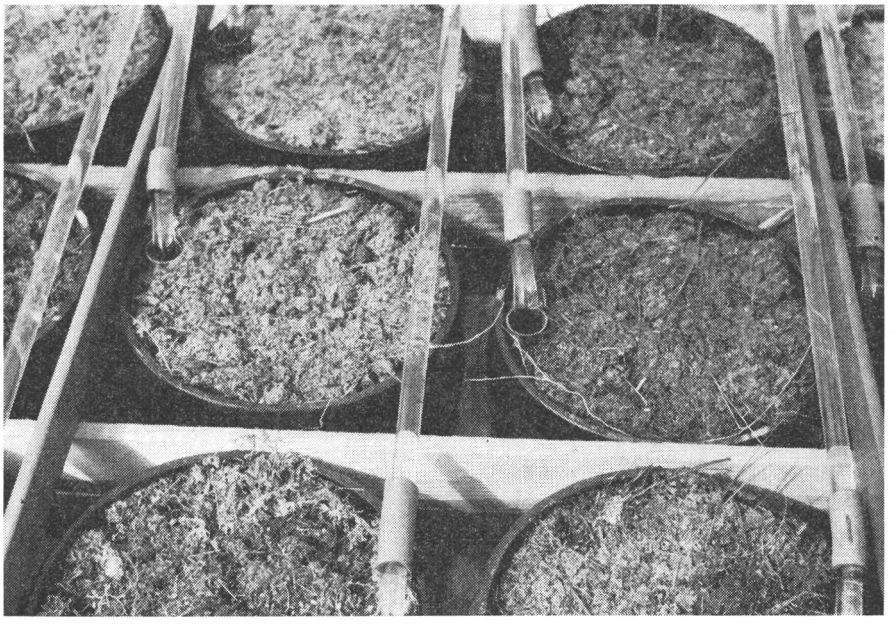
Voidaan olettaa, että kasvihuonekokeessa eri koejäsenet joutuvat verrattain homogeeniseen ympäristöön. On kuitenkin mahdollista, että eri osissa kasvihuonetta sijaitsevien näytteiden lämpötiloissa saattaa syntyä eroja riippuen siitä, miten alttiina ne ovat suoralle auringon säteilylle, erityisesti koska näytelieriöt olivat mustaa polyteenimuovia. Kokeessa on tämän vuoksi käytetty lämpötilan säätöjärjestelmää, jonka tarkoituksena on ollut pitää turvenäytteet keskenään samanlaisissa, kasvihuoneen ilmaa kylmemmissä lämpötilaoloissa.

Lämpötilan säätelemiseksi on kasvihuoneeseen rakennettu kaksi allasta. Ne on asetettu kasvihuoneessa itä-länsisuuntaan. Juoksutusnopeudeltaan säädettävissä oleva kylmä (n. 11—18° C) vesijohtovesi on johdettu altaiden toisen pään pohjaan ja lämmennyt pintavesi on johdettu pois altaiden vastakkaisesta päästä.

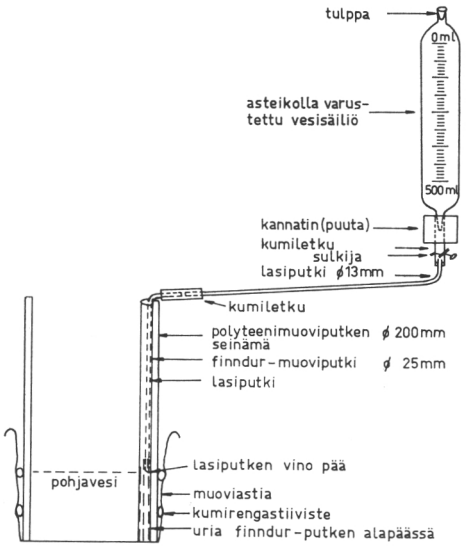
Näytelieriöt on upotettu altaisiin niin, että niiden yläreuna on ollut n. 5—7 cm:ä veden pinnan yläpuolella. Kukin näytelieriö on suljettu alapäästään vesitiiviisti, jottei sitä ympäröivä vesi pääsisi kokeen aikana tunkeutumaan näytelieriön sisään. Tiivistäminen on tehty muoviputken ulkohalkaisijaa vähän suuremman muoviastian ja kumirengastiivisteiden avulla sijoittamalla kaksi kumirengastiivistettä muoviputken ja muoviastian väliin.

Kun alapäästään suljetut näytelieriöt upotetaan vesialtaisiin, pyrkivät ne vettä kevyempinä ylöspäin. Tämän vuoksi ne on tuettu paikoilleen lautaristikon avulla. Kun laudat paisuvat vedessä, pysyvät näytelieriöt tukevasti paikoillaan (kuva 4).

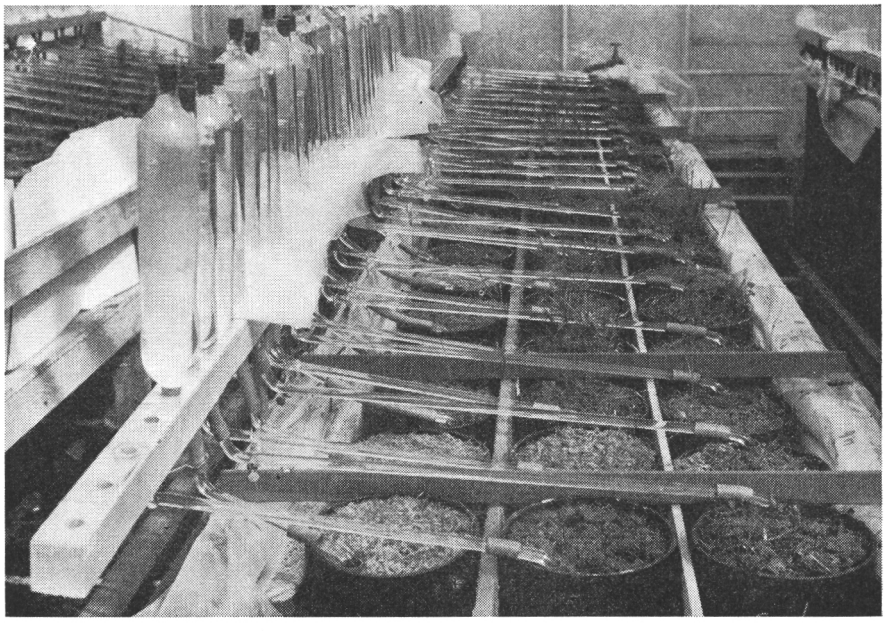
Haihdunnan mittaamiseksi pohjaveden pinnan alenemisen avulla on kehitetty menetelmä, joka perustuu J u u s e l a n (1962) käyttämään pienoislysimetriin ollen kuitenkin jonkin verran yksinkertaisempi (kuvat 4, 5 ja 6). Kuhunkin turvenäytteeseen aivan näytteen reunaan on pystysuoraan kairattu reikä, jonka halkaisija on 25 mm. Reikään on työnnetty ulkohalkaisijaltaan 25 mm:n suuruinen muoviputki, jonka alapäähän on tehty rakoja samaan tapaan, kuin on esim. muovisalaojaputkissa. Muoviputki on työnnetty aivan näytteen pohjaan saakka ja yläpää jätetty näytteenottolieriön yläreunan tasalle. Muoviputken sisälle muodostuu vapaa vesipinta ja se toimii siis eräänlaisena »pohjavesikaivona». Lysimetrin vesisäiliönä on



Kuva 4. Lähikuva koejärjestelystä kasvihuoneessa.
Fig. 4. Closeup of greenhouse experiment.



Kuva 5. Tutkimuksessa käytetty pohjaveden syvyyden säännöstelymenetelmä
Fig. 5. The method used for ground water regulation.



Kuva 6. Yleiskuva koejärjestelystä kasvihuoneessa.
Fig. 6. General view of the greenhouse experiment.

mitta-asteikolla varustettu pullon muotoinen lasiastia (mittapullo), jonka yläpää voidaan sulkea ilmatiiviisti kumitulpalla. Pullon alapäästä on johdettu kahden kumiletkun ja kahden taivutetun lasiputken avulla tehty vesi- ja ilmatiivis putki näytteessä olevaan »pohjavesikaivoon». Kun mittapullo täytetään vedellä ja suljetaan ilmatiiviisti yläpäästään muodostuu sen ja näytteen pohjaveden pinnan välille yhtenäinen vesipatsas ja haihdunnasta aiheutuva pohjaveden pinnan alentuminen korvautuu mittapullosta tulevalla vedellä. Veden väheneminen voidaan lukea mitta-asteikosta n. 2—3 ml tarkkuudella, mikä tässä kokeessa vastaa n. 0,1 mm vesikerroksen haihtumista astiasta. Pohjaveden pinnan etäisyys turpeen pinnasta voidaan säädellä »pohjavesikaivossa» olevan lasiputken pituuden avulla. Lasiputken vinoksi leikattu alapää määrittää pohjaveden pinnan tason. Mittapullot on sijoitettu altaiden pohjoispuolelle, etteivät ne varjostaisi haihduttavia pintoja. Kokeessa on käytetty ionivaihdettua vettä. Mittapullon täyttäminen vedellä suoritetaan siten, että veden pääsy näytteeseen estetään ylemmän kumiletkun kohdalla olevan puristimen avulla. Täytön jälkeen suljetaan mittapullon yläpää tiiviisti kumitulpalla, jonka jälkeen avataan alapäässä oleva puristin. Koejärjestely toisen altaan osalta näkyy kuvassa 6.

Edellä esitetyllä tavalla suoritettuun haihdunnan mittaamiseen liittyy eräitä menetelmän periaatteesta johtuvia virhelähteitä. Niinpä ulkoilman paine vaikuttaa pullossa olevan vesipatsaan korkeuteen ja saattaa näin aiheuttaa vähäisiä ilmanpaineen vaihtelusta johtuvia eroja eri päivinä. Tästä aiheutuvat virheet ovat kuitenkin pieniä eikä niitä ole otettu huomioon tulosten käsittelyssä. Sen sijaan suurempi virhe aiheutuu siitä, että pullot ovat kooltaan vain n. 500 ml, joten niitä on jouduttu usein täyttämään. Haihdunnan ollessa suurimmillaan on täyttö jouduttu suorittamaan 8—10 vrk välein koejäsenissä, joissa pohjavesi on ollut lähellä pintaa, muissa harvemmin. Täytön ajaksi on tulppa avattava ja pullossa oleva alipaine tasoittuu normaali-ilmanpaineeksi. Kun tulppa suljetaan ja vesireitti näytteeseen avataan, alenee veden pinta pullossa välittömästi, kunnes taas on saavutettu tasapaino pullon ulkopuolella olevan ilmanpaineen ja pullon sisäpuolella olevan paineen välillä. Sikäli kun haihdunta on vähäistä, saattaa täytön yhteydessä näytteeseen valunut vesimäärä olla suurempi kuin vuorokausihaihdunta. Tästä on seurauksena, että täyttöpäivänä mitataan todellista suurempia haihdunnan määriä ja täyttöä seuraavana päivänä ei haihduntaa näytä tapahtuvan lainkaan tai se jää normaalia vähäisemmäksi. Päivittäistä haihduntaa koskevissa analyyseissä onkin täyttöpäivä ja sitä seuraava päivä jätetty pois aineistosta.

Biologista kasvatuskoetta ajatellen on pyritty jo turpeen vesitaloutta selvittelevässä kokeessa seuraamaan myös jossain määrin taimien kehitystä pohjaveden syvyyden funktiona. Siementen itämisen varmistamiseksi on turvenäytteitä alkuvaiheessa kasteltu tehokkaasti. Runsaasta kastelusta on

ollut seurauksena, että eräissä koejäsenissä pohjavesi on noussut haluttua korkeammalle. Pintakastelun lopettamisen jälkeen on näistä koejäsenistä poistettu vettä kolmena perättäisenä päivänä ja myöhemmin vielä kahtena päivänä koesuunnitelman edellyttämän pohjaveden syvyyden saavuttamiseksi. Koejäsenet, joissa ei ole onnistuttu saamaan pohjavettä koesuunnitelman edellyttämälle syvyydelle, on poistettu aineistosta.

Haihduntaa on mitattu jokaisena arkipäivänä merkitsemällä muistiin mittapullosta täytön jälkeen vähentyneen veden määrä. Näin on saatu haihduntaa kuvaamaan kumulatiivinen numerosarja, jossa vähentämällä edellinen numero jälkimmäisestä on saatu vuorokautinen haihdunta. Sunnuntaisin ei ole tehty haihduntahavaintoja, joten lauantaina ja sunnuntaina tapahtunut haihdunta on saatu vain em. päivinä tapahtuneen haihdunnan summana. Lauantaina ja sunnuntaina tapahtunutta haihduntaa koskeva aineisto onkin jätetty regressioanalyyseissä kokonaan käsittelemättä.

Ilman lämpötilahavaintoja on tehty neljä kertaa päivässä toisen jäähdytysaltaan molemmissa päissä. Lisäksi altaiden läheisyydessä näytelieriöiden yläpinnan korkeudella on ollut termohygrografi, josta on samanaikaisesti luettu ilman lämpötila.

Jäähdytysaltaiden vastakkaisten päiden mahdollisten ilman lämpötilaerojen selville saamiseksi on laskettu 80 havaintokerran perusteella lämpömittarilukemien erotusten keskiarvo. Keskiarvojen ero on ollut 0,006° C ja jäänyt siis selvästi havaitsemistarkkuutta (0,3—0,5° C) pienemmäksi.

Myös jäähdytysaltaiden veden lämpötilaa on tarkkailtu päivittäin ja pyritty pitämään lämpötilaa eri altaissa mahdollisimman samanlaisena säätämällä jäähdytysveden vaihtoa. Tässä onkin onnistuttu verrattain hyvin. Altaiden väliset lämpötilaerot on yleensä voitu pitää pienempinä kuin 1° C. Veden lämpötilassa altaiden eri päissä ei ole voitu todeta eroja. Jäähdytysvesi on pinnassa (n. 5 cm) ollut lämpiminä päivinä jopa 4—5° C lämpimämpää kuin altaan pohjalla (n. 75 cm). Veden lämpötila on altaissa ollut yleensä 12—20° C riippuen ilman ja vesijohtoveden lämpötilasta.

Muutamilla pistokokeilla on seurattu myös turpeen lämpötilaa näytelieriöissä ja voitu todeta sen hyvin läheisesti seuraavan ympäröivän jäähdytysveden lämpötilan vaihteluja. Turpeen lämpötila n. 10 cm pinnasta on ollut keskimäärin n. 0,2—0,6° C alempi kuin pintaveden lämpötila.

Ilman suhteellisen kosteuden vaihteluja on tarkkailtu termohygrografin avulla. Termohygrografista luetut ilman suhteellisen kosteuden arvot on korjattu samanaikaisesti tehtyjen Assmannin psykrometrihavaintojen perusteella. Psykrometrillä ja termohygrografilla mitatun suhteellisen kosteuden erot on voitu tasottaa suoralla.

$$y = 1{,}27x - 7{,}1,$$

jossa y = termohygrografin antama suhteellinen kosteus (%)
x = psykrometrin antama suhteellinen kosteus (%)

Näin saatujen ilman suhteellisen kosteuden ja samanaikaisesti termohygrografista luettujen ilman lämpötilahavaintojen perusteella on määritetty ilman kyllästysvajaus. Termohygrografin antamat lämpötilat poikkeavat niin vähän psykrometrin kuivan lämpömittarin arvoista, että niiden korjaamista on pidetty tarpeettomana. Ilman kyllästysvajaus kasvihuoneessa on pysynyt n. klo 19.00—07.00 suhteellisen muuttumattomana. Ennen klo 19.00 ja klo 07.00 jälkeen on ollut jyrkkä vaihettumisjakso. Tämän vuoksi on kyllästysvajaus määritetty vain päivällä, jolloin on voitu saada esille eri päivien väliset ilmastolliset erot kasvihuoneessa. Havaintoajat ovat olleet klo 10.00, 12.00, 14.00 ja 16.00. Edellä esitetyn lisäksi on Ilmatieteelliseltä keskuslaitokselta saatu käytettäväksi tietoja päivittäisen tulevan lyhytaaltosäteilyn energian määrästä Ilmalassa. Säteilyn absoluuttinen määrä kasvihuoneessa poikkeaa jonkin verran kokonaissäteilystä. Esim. Glougart (1968) on maininnut, että spektrin näkyvästä osasta n. 85—93 % ja infrapunasäteilystä n. 75—93 % tunkeutuu lasin lävitse. Lisäksi esim. pöly, vesihöyry ja varjostusaineet vähentävät voimakkaasti säteilyä. Onkin ilmeistä, että tässä tutkimuksessa käytetyt Ilmalassa mitatut säteilyn määrät osoittavat vain säteilyn suhteellista vaihtelua kasvihuoneessa.

24. Turpeen kosteuden määritys

Tässä tutkimuksessa on pyritty selvittämään myös pintaturpeen kosteuteen vaikuttavia tekijöitä. Tällöin on tutkittu haihduntakokeen päätyttyä n. 30 cm paksuista pintakerrosta, jota kasvien ja mikrobien elintoimintojen kannalta voitaneen pitää tärkeimpänä (vrt. Huikari 1953, Heikurainen 1957, Paarlahti & Vartiovaara 1958, ja Paavilainen 1966). Kosteus on määritetty erikseen 0—10 cm, 10—20 cm ja 20—30 cm kerroksista siten, että 0-tasona on pidetty näytteenottolieriön yläreunan määrittämää tasoa. Kun turve näytelieriössä oli kokeen aikana yleensä jonkin verran painunut lieriön reunan alapuolelle, on 0—10 cm kerrosta vastaava turvepatsas lähes poikkeuksetta ollut jonkin verran matalampi kuin 10 cm, ja näin esim. 0—10 cm kerros tässä tutkimuksessa ei vastaa täysin turpeen pinnasta lähtien mitattua 0—10 cm kerrosta. Tällaiseen menettelyyn on päädytty sen vuoksi, että myös pohjaveden korkeus näytteissä on säädetty näytteenottolieriön yläreunan tason ja siis turpeen pinnan alkuperäisen tason mukaan. Jos näin ei olisi menetelty, olisi esim. tapauksessa, jossa pohjavesi on ollut 30 cm syvyydellä näytteenottolieriön yläreunasta, jouduttu 20—30 cm turvekerros ottamaan saman verran pohjaveden pinnan alapuolelta kuin 0—10 cm kerroksen yläpinta olisi ollut näytteenottolieriön yläreunan muodostaman tason alapuolella.

Turpeen vesipitoisuus on haluttu esittää tilavuusprosentteina. Tämän vuoksi on määritetty erikseen 0—10, 10—20 ja 20—30 cm turvekerrosten tilavuus. Turvekerrosten poikkileikkauspinta-ala on laskettu näytteenottolieriön poikkileikkauspinta-alana. Turvekerrosten paksuus on määritetty seuraavasti. Turvenäytteen poikkileikkausympyrästä on etsitty kahdeksan sellaista pistettä, jotka mahdollisimman tarkoin edustavat yhtäsuuria pinta-aloja. Mainituista pisteistä on mitattu turpeen pinnan etäisyys näytteenottolieriön reunan tasosta 1 mm:n tarkkuudella. Etäisyyslukemien keskiarvoa on pidetty laskelmissa turpeen pinnan keskimääräisenä tasona. Mittauksen suorittamista varten on valmistettu läpinäkyvästä muovista millimetrimitta ja reikälevy, jonka avulla on määritetty mittausten perustaso eri kohdissa turvenäytettä. Turve on poistettu näytteistä kerroksittain käyräksi taivutetulla veitsellä ja pienillä saksilla. Näillä välineillä on leikkauspinta voitu saada erittäin tasaiseksi. Kun turve on tällä tavoin poistettu haluttuun syvyyteen saakka 10, 20 tai 30 cm näytelieriön reunan tasosta, on mitattu näin saadun turvepinnan tarkka etäisyys näytteenottolieriön yläreunasta edellä esitetyllä menetelmällä. Tämän ja alussa suoritetun mittauksen erotuksena on saatu poistetun turvekerroksen paksuus.

Edellä esitetyllä tavalla saatujen tilavuusnäytteiden sisältämä veden määrä on laskettu yhden gramman tarkkuudella märkäpainon ja kuivapainon (105° C) erotuksena, jota laskelmissa on samalla käytetty osoittamaan turpeen sisältämän veden tilavuutta ja on voitu ilmaista prosentteina koko tilavuusnäytteestä.

Tilavuusnäytteet ovat olleet verrattain suuria, turpeen painumisesta riippuen n. 1,0—2,8 l. Veitsellä ja saksilla irroitettaessa on turpeen rakenteen särkyminen aiheuttanut tilavuuden laajenemisen n. kaksinkertaiseksi. Näin suurten märkien turvenäytteiden kuivattaminen on hyvin hidasta, minkä vuoksi onkin tyydytty määrittämään kuivapaino kunkin erilaisen käsittelyn osalta vain yhdestä koetoistosta. Sen sijaan tuorepaino ja tilavuus on määritetty kaikista kolmesta koetoistosta. Koska turvenäytteet haihduntatutkimusta varten on otettu hyvin homogeenisesta turpeesta ja edelleen kasvihuoneessa pyritty saamaan koeolosuhteiden puolesta mahdollisimman vertailukelpoisiksi, on katsottu, että turpeen tilavuuspainossa ei koetoistojen välillä voine olla mainittavia eroja. Tämän perusteella on laskettu turpeen sisältämä veden määrä myös kuivattamatta jätetyistä koetoistoista, kun on tunnettu tilavuusnäytteiden tuorepaino, tilavuus ja yhden toiston perusteella laskettu tilavuuspaino.

Tilavuusnäytteiden alkukuivatus (n. 10—15 %:iin) on tapahtunut lämminilmapuhaltimen avulla maatalouskoneiden tutkimuslaitoksessa siten, että lämmin ilmavirta on johdettu avonaisissa peltiastioissa olevan turpeen yli. Lopullinen kuivatus on tapahtunut lämpökaapissa 105° C:n lämpötilassa.

3. TUTKIMUSSUUNNITELMA JA TULOSTEN KÄSITTELY

Pyrittäessä selvittämään luvussa 1 mainittujen erilaisten tekijöiden vaikutusta haihduntaan ja turpeen kosteuteen ei normaaleissa kasvihuoneoloissa ole luonnollisestikaan voitu keinollisesti vaihdella ilmastotekijöiden vaikutuksen määrää. Tutkimuksessa on siis tyydytty vain kokeen aikana vallinneiden sääolojen rekisteröimiseen. Biologista kasvuntutkimusta ajatellen ei tarkempi tutkimus olisi ollut tarpeellistakaan, koska luonnossa säätelymahdollisuudet ovat joka tapauksessa varsin rajoitetut. Toisaalta tiettyä koesuunnitelmaa noudattavan säätelyn avulla olisi ehkä voitu eri säätekijöiden vaikutus saada vielä karakteristisemmin esille haihduntaa tutkittaessa.

Edellä mainitusta syystä on koeolosuhteiden keinollinen vaihtelu rajoittunut vain edafisiin tekijöihin seuraavasti:

Turvelaji	Rahkaturve (S-t)	Sararahkaturve (CS-t)	Rahkasaraturve (SC-t)	
Pohjaveden syvyys cm	10	30	50	70
Turpeen muokkaussyvyys cm	0	5	10	20

Turvelajeja on siis ollut kolme. Rahkaturve on otettu rahkanevalta (*Sphagnum fuscum*-valtainen), sararahkaturve lyhytkortiselta nevalta (*Scirpus caespitosus*-valtainen) ja rahkasaraturve suursarakalvakkanevalta (*Molinia coerulea*-valtainen). Pohjaveden syvyydeksi on valittu 10, 30, 50 ja 70 cm metsäntutkimuslaitoksella soiden vesitaloustutkimuksissa esiintyvän yleisen käytännön mukaan. Turvenäytteet on otettu vastaavasti 40, 40, 60 ja 80 cm pituisina. Pohjaveden pinta on pyritty kokeen ajan säilyttämään mainituilla vakioetäisyyksillä asianomaisissa koejäsenissä. Kuten jo edellä on todettu, turpeen painuminen ja eräissä koejäsenissä tapahtunut ylimääräinen pohjaveden kohoaminen ovat kuitenkin aiheuttaneet pieniä muutoksia. Kaikki laskelmat on kuitenkin tehty absoluuttisten, turpeen pinnasta kokeen loppumishetkellä mitattujen, pohjaveden syvyyksien perusteella.

Turpeen pintakerros on jätetty joko kokonaan muokkaamatta tai siitä on muokattu 5, 10 tai 20 cm paksu kerros luvussa 23. esitetyllä tavalla.

Jokaisen turvenäytteen pintaan on kylvetty männyn ja kuusen siemeniä, kumpaakin 30 siementä yhtä koejäsentä kohti, koska haihduntahavaintojen kanssa samanaikaisesti on haluttu verrata pohjaveden syvyyden ja muokkauksen vaikutusta männyn ja kuusen kylvötaimien menestymiseen. Taimien kehittymisen turvaamiseksi kaikki koejäsenet ovat saaneet NPK-pintalannoituksen.

Eri ravinteita on annettu yhtä paljon (75 kg/ha) N:ksi, P_2O_5:ksi ja K_2O:ksi laskettuna. Käytetyt lannoitteet ovat Oulunsalpietari (25 %), hienofosfaatti (33 %) ja kalisuola (60 %).

Koe on suoritettu täydellisenä faktorikokeena ($3 \times 4 \times 4 = 48$). Toistoja on ollut kolme, joten koejäseniä on yhteensä ollut 144 kpl. Tutkimuksen runsaasti luokittelutekijöitä sisältävän luonteen vuoksi on tuloksia analysoitaessa käytetty suurelta osin varianssianalyysiä. Pääosa tutkimusaineistosta on kuitenkin käsitelty myös regressioanalyysillä. Tämä onkin osoittautunut, paitsi ilmastotekijöiden ja haihdunnan välisiä suhteita tutkittaessa, erittäin käyttökelpoiseksi myös pohjaveden syvyyden ja haihdunnan, pohjaveden syvyyden ja turpeen kosteuden sekä turpeen kosteuden ja haihdunnan välisiä lainalaisuuksia selvitettäessä.

Analyysit on laskettu valtion tietokonekeskuksen Elliot 503-tietokoneella. Varianssianalyysit on laskettu epätäydellisesti täytetyn ruudukon menetelmällä ja regressioanalyysit Elliot-autocode-ohjelmalla, joka laskee vaiheittaisen valikoivan regressioanalyysin siten, että se lisää analyysiin selittävät muuttujat paremmuusjärjestyksessä. Ensimmäiseksi tulee muuttuja, joka selittää suurimman osan selitettävän muuttujan vaihtelusta, sen jälkeen jäljelle jääneistä muuttujista paras selittäjä jne. Ohjelma testaa myös selittäjien merkitsevyyttä laskemalla näille F-arvot. Tässä tutkimuksessa on rajana pidetty F-arvoa 4,0. Kaikki muuttujat, joiden F-arvo selitettävän muuttujan suhteen on ollut tätä pienempi, on hylätty.

4. TULOKSET

41. Ilmastotekijöiden vaikutus haihduntaan

Ilmastotekijöiden vaikutusta haihduntaan (Et) on tutkittu erikseen kunkin käytetyn pohjaveden syvyyden osalta. Tuloksia on tulkittu regressioanalyysin avulla, jolloin selittäviksi tekijöiksi on valittu ilman päivänaikainen keskilämpötila (T) ja kyllästysvajaus (H) kasvihuoneessa (vrt. s. 17), säteily (Rs) Ilmalassa sekä näiden tekijöiden neliöt ja parittaistulot. Laskenta on suoritettu muokkaamattomista koejäsenistä.

Taulukko 1. Muokkaamattomista koejäsenistä tapahtuvan haihdunnan (Et) riippuvuus säteilystä (Rs), kyllästysvajauksesta (H) ja lämpötilasta (T). Korrelaatiomatriisi regressioanalyysistä pohjaveden ollessa 10 cm syvyydellä, luvut korrelaatiokertoimia (r).

Table 1. Dependence of evapotranspiration (Et) from unprepared sample plots on radiation (Rs), saturation deficit (H), and temperature (T). The matrice of correlation of the regression analysis represents 10-cm. ground water depth, and the figures are coefficients of correlation (r).

Muuttuja *Variable*	H	T	Rs	H^2	T^2	R^2s	H·T	H·Rs	T·Rs	Et
H	1.00									
T	0.83	1.00								
Rs	0.87	0.81	1.00							
H^2	0.99	0.84	0.88	1.00						
T^2	0.83	1.00	0.81	0.84	1.00					
R^2s	0.86	0.80	0.97	0.89	0.80	1.00				
H·T	0.99	0.90	0.89	0.99	0.90	0.88	1.00			
H·Rs	0.93	0.84	0.97	0.96	0.84	0.98	0.95	1.00		
T·Rs	0.89	0.87	0.99	0.91	0.87	0.98	0.92	0.98	1.00	
Et	0.71	0.64	0.82	0.72	0.65	0.80	0.72	0.80	0.81	1.00

Voimakkaimmin on haihdunnan kanssa korreloinut säteily (r = 0,82, taul. 1) ja heikoimmin lämpötila (r = 0,64). Kyllästysvajaus on asettunut edellämainittujen välille (r = 0,71). Taulukosta 1 havaitaan edelleen, että säteilyn ja kyllästysvajauksen sekä säteilyn ja lämpötilan välinen korrelaatio on kiinteä (r = 0,87 ja r = 0,81).

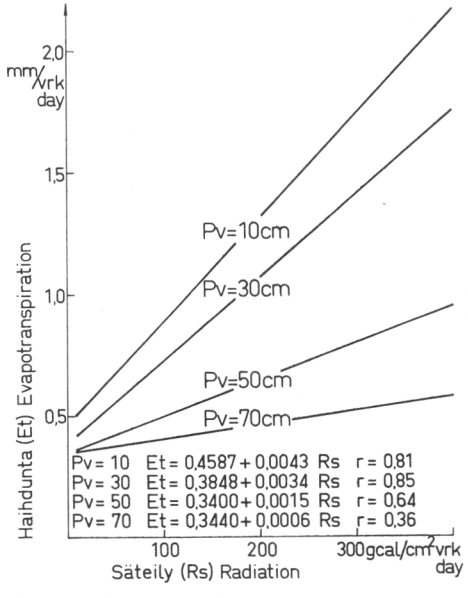
Selittävien tekijöiden voimakkaasta keskinäisestä korrelaatiosta johtuen vain paras selittäjä, säteily, on päässyt mukaan lopullisiin haihdunnan ja

tutkimuksessa käsiteltyjen ilmastotekijöiden välisiin regressioyhtälöihin (taul. 2). Tarkastelun helpottamiseksi on regressioyhtälöt laskettu erikseen kullekin pohjaveden syvyydelle. Taulukosta 2 ja kuvasta 7 havaitaan, että säteilyn vaikutus on ollut voimakkain pohjaveden ollessa 10 cm:n syvyydessä

Taulukko 2. Ilmastotekijäin vaikutusta muokkaamattomasta turvepinnasta tapahtuvaan haihduntaan (Et) kuvaavat regressioyhtälöt eri pohjaveden syvyyksillä. Rs = kokonaissäteily; r = korrelaatiokerroin; Se = selitysvirheiden keskihajonta.

Table 2. Regression equations describing the influence of climatic factors on evapotranspiration (Et) from unprepared peat surface at different depths of the ground water table. Rs = total radiation, r = coefficient of correlation, Se = standard deviation of the error involved in the degree of explanation.

Pohjaveden syvyys, cm *Depth of the ground water table, cm*	Regressioyhtälö *Regression equation*	r	Se mm	$\overline{Et}$ mm/vrk - *day*	Kertoimen T-luku *T-value of coefficient*
10	Et = 0.4587+0.004283 Rs	0.81	0.291	1.209	10.53
30	Et = 0.3848+0.003430 Rs	0.85	0.205	0.986	11.99
50	Et = 0.3400+0.001523 Rs	0.64	0.171	0.607	6.39
70	Et = 0.3440+0.000582 Rs	0.36	0.138	0.446	3.03

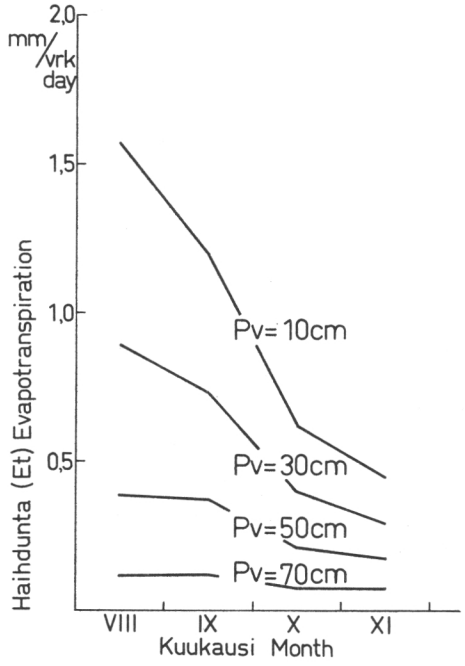


Kuva 7. Turpeesta tapahtuvan haihdunnan (Et) riippuvuus säteilystä (Rs) pohjaveden syvyyden (Pv) ollessa 10, 30, 50 ja 70 cm.

Fig. 7. Dependence of evapotranspiration from peat (Et) on radiation (Rs) when the ground water table (Pv) is at depths of 10, 30, 50, and 70 cm.

ja vähentynyt pohjaveden syvyyden kasvaessa. Pohjaveden ollessa 70 cm:n syvyydessä on säteilyn vaikutus ollut hyvin vähäinen, mutta tällöinkin tilastollisesti merkitsevä. Taulukossa esitetyllä kertoimen T-luvulla testataan poikkeaako regressiokerroin merkitsevästi nollasta. Jos T-luku on pienempi kuin 2,0, ero ei ole tilastollisesti merkitsevä.

Aineistosta on laskettu lisäksi keskiarvolukuina haihdunnan määrä peräkkäisinä havaintokuukausina (kuva 8). Kuva osoittaa, että haihdunta on vähentynyt erittäin voimakkaasti elokuusta marraskuuhun ja että vaikutus on ollut sitä selvempi mitä lähempänä turpeen pintaa pohjavesi on ollut. Verrattaessa kuvaa 8 seuraavan asetelman lukuihin havaitaan, että syynä on ollut säteilyenergian väheneminen (vrt. myös Nielsen 1962, Pelton 1964, Baier and Robertson 1965).



Kuva 8. Keskimääräinen vuorokautinen haihdunta (Et) peräkkäisinä havaintokuukausina pohjaveden syvyyden funktiona (pohjaveden syvyys kokeen alussa).

Fig. 8. Daily mean evapotranspiration (Et) during the months of observation at different depths of the ground water table (ground water depths in the beginning of the experimental period).

Kuukausi	Säteily gcal/cm²/vrk
VIII	272
IX	187
X	73
XI	26

Edellä on todettu, että tutkituista ilmastotekijöistä on säteilyenergia selittänyt parhaiten turpeesta tapahtuvaa haihduntaa tutkimusolosuhteissa. Tämä on ymmärrettävissä haihtumistapahtuman voimakkaasti energiaa sitovan luonteen perusteella. Kyllästysvajauksella tai lämpötilalla haihduntaa selittävinä tekijöinä onkin ilmeisesti ollut merkitystä vain sikäli kuin niiden avulla on voitu kuvata maahan saapuvan säteilyenergian vaihteluja. Olosuhteissa, joissa säteilyn mittaaminen ei ole mahdollista voitaneen kuitenkin vuorokauden keskimääräisen kyllästysvajauksen tai lämpötilan avulla mittausajankohtia sopivasti valikoimalla saavuttaa verrattain hyvä selitysaste, kuten tämänkin tutkimuksen tulokset osoittavat.

42. Turvelajin ja pohjaveden syvyyden vaikutus haihduntaan

Turvelajin ja pohjaveden syvyyden (Pv) vaikutusta haihduntaan (Et) on tutkittu muokkaamattomista koejäsenistä ja pääasiassa regressioanalyysin avulla. Kullekin turvelajille on laskettu erikseen haihdunnan ja pohjaveden syvyyden välinen regressioyhtälö (taul. 3, kuva 9). Tulokset osoittavat, että pohjaveden syvyyden ja haihdunnan välinen korrelaatio on ollut negatiivinen. Myös mm. Päivänen (1964), Heikurainen (1967) sekä Paavilainen ja Virrankoski (1967) ovat maininneet haih-

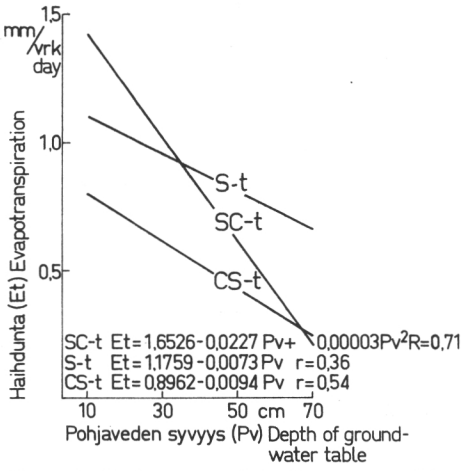
Taulukko 3. Haihdunnan (Et) ja pohjaveden syvyyden (Pv) väliset regressioyhtälöt (muokkaamaton turvepinta).

Table 3. Regression between evapotranspiration (Et) and depth of the ground water table (Pv) in unprepared peat soil.

Turvelaji *Peat kind*	Regressioyhtälö *Regression equation*	R [1]	r [2]	Se mm/vrk - *day*	$\bar{E}t$ mm/vrk - *day*	Kertoimen T-luku *T value of coefficient*
S-t	Et = 1.17591—0.0073440 Pv	—	0.36	0.4087	0.8932	5.95
CS-t	Et = 0.89620—0.0093763 Pv	—	0.54	0.2996	0.5485	7.89
SC-t	Et = 1.65256—0.0226523 Pv +0.0000323 Pv^2	0.71	—	0.4121	0.8855	15.31

[1]) R = yhteiskorrelaatiokerroin — *R = Coefficient of multiple correlation.*

[2]) r = kahden muuttujan välinen korrelaatiokerroin — *r = coefficient of correlation between two variables.*



Kuva 9. Haihdunnan (Et) riippuvuus pohjaveden syvyydestä (Pv) eri turvelajeilla.
Fig. 9. Dependence of evapotranspiration (Et) on the depth of the ground water table (Pv) in different peat soils.

dunnan vähentyvän pohjaveden syvyyden kasvaessa. Voimakkaimmin on pohjaveden syvyys vaikuttanut rahkasaraturpeesta (SC-t) ja heikoimmin rahkaturpeesta (S-t) tapahtuvaan haihduntaan.

Tarkasteltaessa koko havaintoaikana tapahtunutta keskimääräistä vuorokautista haihdunnan määrää on saatu pohjaveden syvyyden ja haihdunnan välistä yhteyttä kuvaamaan taulukon 4 luvut.

Taulukon luvut osoittavat, samoin kuin edellä esitetyt regressioyhtälötkin, että haihdunta on kaikkien turvelajien kohdalla ollut voimakkaasti riippu-

Taulukko 4. Keskimääräinen vuorokautinen haihdunta turpeen pinnasta kokeen aikana pohjaveden syvyyden ja turvelajin mukaan ryhmiteltynä. Haihduntaa 10 cm pohjavesitasolla olevista koejäsenistä on merkitty 100:lla.

Table 4. Daily mean evapotranspiration from peat during the period of study. The data have been grouped on the basis of the depth of the ground water table and the kind of peat. Evapotranspiration in the area where the ground water table was 10 cm. below the ground surface was given the value 100.

Pohjaveden syvyys cm *Depth of the ground water table cm*	Haihdunta turvelajin ollessa *Evapotranspiration from ··· peat*					
	S-t		CS-t		SC-t	
	mm/vrk - *day*	%	mm/vrk - *day*	%	mm/vrk - *day*	%
10	0.92	100	0.94	100	1.02	100
30	0.52	57	0.63	67	0.52	51
50	0.34	37	0.31	33	0.22	22
70	0.18	20	0.04	4	0.06	6
Keskim. — *On an average*	0.49		0.48		0.46	

vainen pohjaveden syvyydestä, kuitenkin vähiten rahkaturpeella. Koko havaintojakson huomioon ottaen ei haihdunnan määrässä eri turvelajeilla ole voitu havaita keskimäärin tilastollisesti merkitseviä eroja.

43. Turpeen kosteuden vaikutus haihduntaan

Pohjaveden syvyys on tässä tutkimuksessa osoittautunut verrattain hyväksi haihdunnan selittäjäksi. Luonnontilaisissa olosuhteissa, jolloin maan vesivaraston täydennys tapahtuu sateen muodossa, on oletettavissa, että pohjaveden syvyys ei samassa määrin selitä haihduntaa. Mainitusta syystä onkin tässä tutkimuksessa pyritty selvittämään myös pintaturpeen kosteuden vaikutusta haihduntaan.

Pintaturpeen (0—30 cm) kosteutta on tutkittu määrittämällä turpeen vesipitoisuus kokeen lopussa (vrt. ss. 17—18). Tuloksia on tulkittu varianssi- ja regressioanalyysin avulla. Varianssianalyysissä ei ole voitu ottaa mukaan koejäseniä, joissa pohjavesi on ollut 10 cm:n päässä pinnasta, koska näissä on turpeen sisältämä vesi määritetty vain 0—10 cm:n kerroksessa.

Tutkittujen, turpeen kosteuteen vaikuttavien tekijöiden varianssianalyysin avulla lasketut yksittäisvaikutukset on esitetty taulukossa 5. Taulukosta havaitaan, että rahkaturpeen (S-t) pintakerros on ollut keskimäärin kuivinta ja rahkasaraturpeen (SC-t) kosteinta. Ero on ollut tilastollisesti erittäin merkitsevä. Kuva 10 kuitenkin osoittaa, että 0—10 cm:n turvekerroksen kosteuserot ovat turvelajien välillä olleet verrattain vähäisiä.

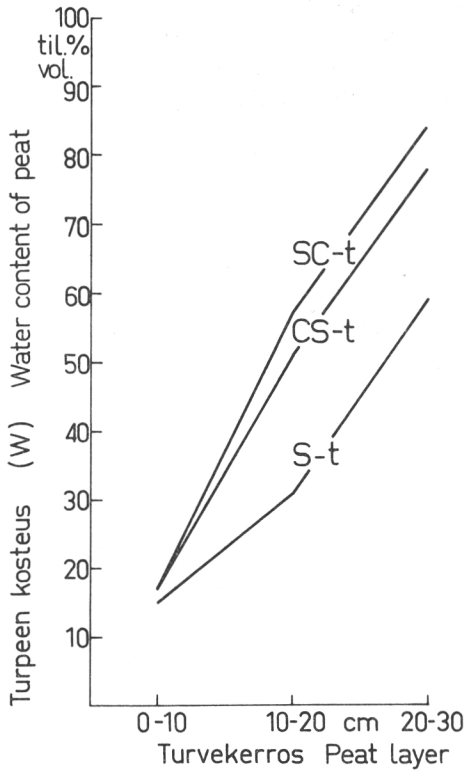
Muokkaus on lisännyt 0—30 cm turvekerroksen kosteutta tilastollisesti erittäin merkitsevästi (taul. 5). Vaikutus on kuitenkin jäänyt sitä pienemmäksi mitä paksumpi kerros on muokattu. Syynä lienee ollut toisaalta

Taulukko 5. Turpeen kosteus (W) tilavuusprosentteina turvelajeittain 0—10, 10—20 ja 20—30 cm turvekerroksessa muokkaussyvyyden ollessa 0, 5, 10 tai 20 cm ja pohjaveden syvyyden ollessa 10, 30, 50 tai 70 cm.

Table 5. Moisture content (W) as volume per cents of different peat soils taken from depths of 0—10, 10—20, and 20—30 cm. when the depth of soil preparation was 0, 5, 10, or 20 cm. and the depth of the ground water table, 10, 30, 50, or 70 cm.

Turvelaji *Peat kind*	W 0—30 cm til. — *vol.* %	Muokkaussyvyys cm *Depth of the preparation cm*	W 0—30 cm til. — *vol.* %	Pohjaveden syvyys cm *Depth of the ground water table cm*	W 0—30 cm til. — *vol.* %	Turvekerros cm *Depth of peat layer cm*	W til. — *vol.* %
S-t	35.1	0	42.0	10 *)	70.0	0—10	16.2
CS-t	48.9	5	49.0	30	58.9	10—20	46.2
SC-t	52.7	10	47.2	50	41.8	20—30	73.8
—	—	20	43.7	70	35.7	—	—

*) Laskettu likimääräisesti varianssianalyysin ulkopuolella 0—10 cm kerroksesta.



Kuva 10. Turvelajien keskimääräinen kosteus (W) eri kerroksissa.
Fig. 10. Average moisture content (W) of different peat soils at different soil depths.

muokkauksen ansiosta tapahtuva turpeen vedenpidätyskyvyn lisääntyminen (K i v i n e n 1948) ja toisaalta vastakkaiseen suuntaan vaikuttamassa muokkauksesta johtuva kapillaarisen veden nousun katkeaminen.

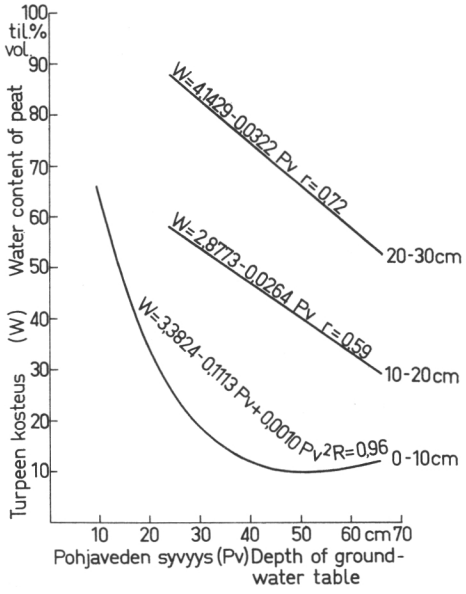
Taulukon 5 luvut osoittavat edelleen, että pohjaveden syvyys samoinkuin turvekerroksen asema (etäisyys pinnasta) ovat vaikuttaneet erittäin voimakkaasti turpeen kosteuteen (tilastollisesti erittäin merkitsevästi). Samantapaisia tuloksia ovat esittäneet myös J u u s e l a (1945), H a u d e (1955), E g g e l s m a n n (1957), P a a v i l a i n e n (1963), H e i k u r a i n e n ym. (1964), P ä i v ä n e n (1968). Mainittujen tekijöiden keskinäisiä suhteita on selvitelty lähemmin regressioanalyysin avulla (taul. 6, kuva 11). Taulukon luvut osoittavat, että pohjaveden syvyys on parhaiten selittänyt 0—10 cm pintaturvekerroksen kosteutta (R = 0,96).

Kuvasta 11 nähdään, että turpeen pintakerroksen (0—10 cm) kosteus vähenee erittäin voimakkaasti pohjaveden aletessa 10—50 cm:iin. Samaa

Taulukko 6. Pohjaveden syvyyden (Pv) ja turpeen kosteuden (W) väliset regressioyhtälöt eri turvekerroksissa.

Table 6. Regression between the depth of the ground water table (Pv) and moisture content (W) at different depths of the peat layer.

Turvekerros *Peat layer*	Regressioyhtälö *Regression equation*	R	r	Se til. — *vol.* %	$\bar{W}$ til. — *vol.* %
0—10 cm	W = 3.38236—0.1113100 Pv +0.0010060 Pv^2	0.96	—	0.2425	1.0825
10—20 cm	W = 2.87726—0.0264343 Pv	—	0.59	0.5317	1.6586
20—30 cm	W = 4.14297—0.0321632 Pv	—	0.72	0.4665	2.6662



Kuva 11. Muokkaamattoman turpeen kosteuden (W) riippuvuus pohjaveden syvyydestä (Pv) ja turvekerroksesta (0—10 cm, 10—20 cm ja 20– 30 cm).

Fig. 11. Dependence of the moisture content (W) of unprepared peat on the depth of the ground water table (Pv) and the depth layer (0– 10, 10– 20, and 20—30 cm.).

osoittavat myös seuraavat suhdeluvut, jotka on laskettu koko havaintoaineiston keskiarvolukujen perusteella. Turpeen (0—10 cm) kosteutta pohjaveden ollessa 10 cm syvyydessä on merkitty 100:lla.

Pohjaveden syvyys cm	0—10 cm turvekerroksen suhteellinen vesipitoisuus
10	100
30	43
50	16
70	13

Pohjaveden aletessa 50—70 cm:iin ei pintaturpeen kosteus sanottavasti enää vähene. Kuvassa 11 ilmenevä käyrän kulku johtunee siitä, että on käytetty ainoastaan ensimmäistä ja toista astetta olevia Pv:n transformaatioita. Pohjaveden syvyyden vaikutusta pintaturpeen vesipitoisuuteen on tutkittu myös turvelajeittain 0—10 cm pintakerroksen osalta (taul. 7). Taulukosta 7 havaitaan, että pintaturpeen kosteuden vaihtelu pohjaveden syvyyden funktiona on pienin rahkaturpeella (S-t) ja suurin rahkasaraturpeella (SC-t), jos pintaa ei ole muokattu. Pintaturpeen vesipitoisuus pohjaveden ollessa 10 cm:n päässä pinnasta on selvästi pienin rahkaturpeella (S-t). Jos pintaturve on muokattu, ei eri turvelajien välillä näytä olevan sanottavia eroja pohjaveden ollessa lähellä pintaa. Sen sijaan pohjaveden ollessa 70 cm syvyydessä on S-t ollut kuivin ja SC-t kostein, siis päinvastoin kuin edellä. Erot ovat kuitenkin verrattain pieniä.

Edellä esitetyn perusteella voitaneen olettaa, että pohjaveden ollessa 50—70 cm syvyydessä on pintaturpeessa oleva vesi ollut lähinnä hygroskooppisesti sidottua, koska pohjaveden syvyyden lisääntyminen 50 cm—70 cm ei enää ole sanottavasti vähentänyt turpeen kosteutta.

Taulukko 7. Pintaturpeen (0—10 cm) keskimääräinen kosteus (tilavuus-%) muokatuissa ja muokkaamattomissa koejäsenissä turvelajeittain pohjaveden syvyyden ollessa 10, 30, 50 tai 70 cm.

Table 7. Average moisture content (vol.pct.) of surface peat (0—10 cm. in depth) in prepared and unprepared experimental members and for different peat soils when the depth of the ground water table was 10, 30, 50, and 70 cm.

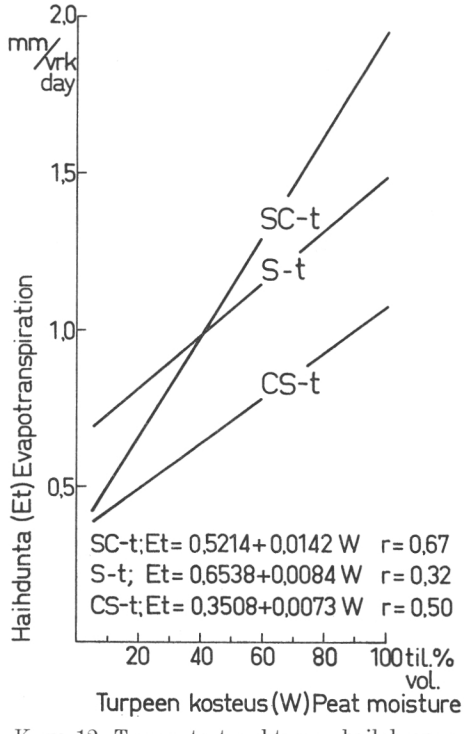
Pohjaveden syvyys cm *Depth of the ground water table cm*	Muokkaamaton *Unprepared*			Muokattu *Prepared*		
	S-t	CS-t	SC-t	S-t	CS-t	SC-t
10	57.4	68.7	71.0	70.9	72.6	70.8
30	24.9	24.2	24.2	21.0	28.9	27.2
50	14.2	8.8	4.9	10.9	14.7	15.4
70	17.3	7.3	2.3	7.5	10.6	13.9

Pintaturpeen kosteuden vaikutusta haihduntaan on selvitetty ainoastaan 0—10 cm turvekerroksen osalta, koska vain tästä turvekerroksesta on ollut havaintoja kaikilla pohjaveden syvyyden arvoilla (10, 30, 50 ja 70 cm). Regressioyhtälöt eri turvelajeille on esitetty taulukossa 8 ja kuvassa 12.

Taulukko 8. Pintaturpeen (0—10 cm) vesipitoisuuden (W) vaikutus turpeesta tapahtuvaan haihduntaan.

Table 8. Dependence of evapotranspiration on the moisture content (W) of surface peat (0—10.).

Turvelaji *Peat kind*	Regressioyhtälö *Regression equation*	r	Se mm/vrk - *day*	$\bar{E}t$ mm/vrk - *day*
S-t	Et = 0.65376+0.0084171 W	0.32	0.4149	0.8932
CS-t	Et = 0.35077+0.0072574 W	0.50	0.3084	0.5485
SC-t	Et = 0.52137+0.0142247 W	0.67	0.4358	0.8855



Kuva 12. Turpeesta tapahtuvan haihdunnan (Et) riipuvuus pintaturpeen (0—10 cm) kosteudesta (W) eri turvelajeilla.

Fig. 12. Dependence of the evapotranspiration from peat (Et) on the moisture content (W) of the topmost (0—10 cm.) peat layer in different peat soils.

Jos saatuja korrelaatiokertoimen ja keskihajonnan arvoja verrataan pohjaveden syvyyden avulla laskettuihin vastaaviin arvoihin (taul. 3), havaitaan, että luvut poikkeavat toisistaan vain vähän, mikä onkin luonnollista pohjaveden syvyyden ja pintaturpeen kosteuden voimakkaan korrelaation vuoksi. Pohjaveden syvyyden ja pintaturpeen kosteuden samankaltaisuutta haihduntaa selittävinä tekijöinä voitaneen pitää lähinnä tutkimusmenetelmästä johtuvana. Luonnossa, missä maan vesivaraston täydennys tapahtuu pääasiassa sateen muodossa, olisi pintaturpeen kosteus ilmeisesti paremmin haihduntaa selittävä tekijä kuin pohjaveden syvyys.

44. Ilmastotekijöiden, pohjaveden syvyyden ja turpeen kosteuden vaikutus haihduntaan

Edellä on todettu, että ilmastotekijöillä, turvelajilla, pohjaveden syvyydellä ja pintaturpeen kosteudella, on kullakin erikseen selvä vaikutus turpeesta tapahtuvaan haihduntaan. Lueteltujen tekijäin yhteisvaikutusten selville saamiseksi on laskettu eri turvelajeille regressioyhtälöt, joissa em. tekijöitä on otettu mukaan ryhmittäin. Tällöin on katsottu tarpeelliseksi selvittää seuraavien tekijäryhmien vaikutusta:

1. Pv, Rs
2. Pv, Rs, W
3. Pv, H, W
4. Pv, Rs, H, W

Pv = Pohjaveden syvyys cm
Rs = Säteily gcal/cm^2 · vrk
H = Ilman kyllästysvajaus mb
W = Pintaturpeen (0—10 cm) kosteus tilavuus-%.

Kaikissa analyyseissa on otettu selittäviksi tekijöiksi myös selittävien muuttujien neliöt ja kaikki parittaistulot. Tulokset on esitetty taulukossa 9. Laskenta on suoritettu vain muokkaamattomista koejäsenistä.

Taulukon yhtälöistä havaitaan, että pohjaveden syvyys ja säteily selittävät verrattain hyvin haihduntaa kaikilla turvelajeilla. Kummankin vaikutus on ollut suoraviivainen kaikissa tapauksissa.

Taulukko 9. Haihdunnan (Et), ilmastotekijöiden (Rs ja H), pohjaveden syvyyden (Pv) ja pintaturpeen vesipitoisuuden (W) väliset regressioyhtälöt sekä vastaavat yhteiskorrelaatiokertoimet (R), keskihajonnat (Se) ja keskiarvot ($\bar{E}t$) eri turvelajeilla.

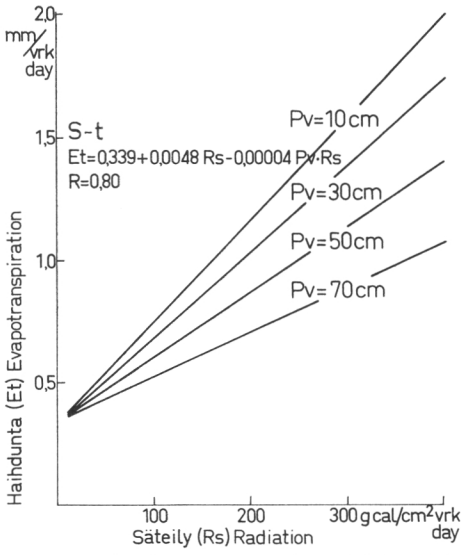
Table 9. Regression equations for the correlation between evapotranspiration (Et), climatic factors (Rs and H), depth of the ground water table (Pv) and the moisture content of surface peat (W) as well as the corresponding multiple correlation coefficients (R), standard deviations (Se), and means ($\bar{E}t$) for different peat soils.

Turvelaji *Peat kind*	Selittävät tekijät *Independent factors*	Regressioyhtälö *Regression equation*	R	Se mm/vrk - *day*	$\bar{E}t$ mm/vrk - *day*
S-t	Rs, Pv	$Et = 0.33929+0.0047688\ Rs-0.0000418\ Pv\cdot Rs$	0.800	0.2633	0.8932
	Rs, Pv, W	$Et = 0.33932+0.0047688\ Rs-0.0000418\ Pv\cdot Rs$	0.800	0.2633	0.8932
	H, Pv, W	$Et = 0.60256+0.0040394\ H^2-0.0006631\ Pv\cdot H$	0.710	0.3088	0.8932
	Rs, H, Pv, W	$Et = 0.33932+0.0047688\ Rs-0.0000418\ Pv\cdot Rs$	0.800	0.2633	0.8932
CS-t	Rs, Pv	$Et = 0.33410+0.0040308\ Rs-0.0000677\ Pv\cdot Rs$	0.730	0.2404	0.5485
	Rs, Pv, W	$Et = -0.28176+0.0012735\ W\cdot Pv-0.0000552\ W^2 +0.0000551\ W\cdot Rs$	0.751	0.2352	0.5485
	Pv, W, H	$Et = -0.19790-0.0001244\ W^2+0.0009796\ W\cdot Pv +0.0013179\ W\cdot H$	0.749	0.2365	0.5485
	Rs, Pv, W, H	$Et = -0.23418-0.0000946\ W^2+0.0011065\ W\cdot Pv +0.0000033\ W\cdot Rs+0.0006330\ W\cdot H$	0.761	0.2315	0.5485
SC-t	Rs, Pv	$Et = 0.70814+0.0052323\ Rs-0.0071254\ Pv -0.0000749\ Pv\cdot Rs$	0.856	0.3033	0.8855
	Rs, Pv, W	$Et = 0.21623-0.0000358\ W^2+0.0004444\ W\cdot Rs 0.0000753\ Pv\cdot Rs$	0.858	0.3013	0.8855
	Pv, W, H	$Et = 0.87268-0.0017599\ Pv\cdot H+0.0051649\ H^2$	0.829	0.3276	0.8855
	Rs, Pv, W, H	$Et = 0.22573+0.0045914\ Rs+0.0004409\ W\cdot Pv -0.0000645\ Pv\cdot Rs+0.0003226\ W\cdot H$	0.857	0.3048	0.8855

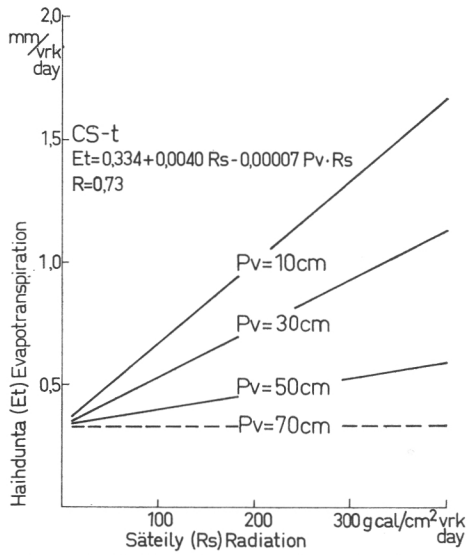
Eri turvelajien välillä on kuitenkin ollut huomattavia eroja kuten kuvat 13, 14 ja 15 osoittavat. Rahkaturpeesta tapahtuva haihdunta on ollut erittäin voimakkaasti riippuvainen kokonaissäteilystä kaikilla pohjaveden syvyyksillä (kuva 13). Toisaalta pohjaveden vaikutus haihduntaan näyttää pienentyneen säteilyn vähentyessä niin, että säteilyn ollessa 10 gcal/cm^2 vrk on haihdunta ollut lähes sama (n. 0,36 mm/vrk) kaikista koejäsenistä.

Sararahkaturpeen kohdalla (kuva 14) voidaan havaita samantapainen pohjaveden vaikutuksen pienentyminen säteilyn vähetessä kuin edellä. Selvänä erona rahkaturpeesta tapahtuvaan haihduntaan nähden on kuitenkin mainittava, että säteilyn ollessa runsasta on haihdunta ollut voimakkaammin riippuvainen pohjaveden syvyydestä. Niinpä pohjaveden ollessa 50—70 cm:n syvyydessä ei säteilyn lisäys ole sanottavasti vaikuttanut haihdunnan määrään.

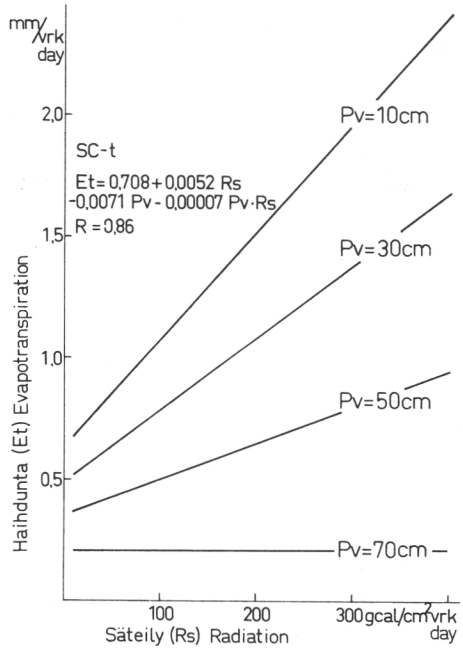
Rahkasaraturpeesta tapahtuva haihdunta (kuva 15) eroaa kummastakin edellä esitetystä. Olennaisin ero on pohjaveden syvyyden erityisen voimakas vaikutus, joka aiheuttaa selvät erot haihdunnassa pohjaveden syvyyksien välille pientenkin säteilymäärien ollessa kysymyksessä.



Kuva 13. Pohjaveden syvyyden (Pv) ja säteilyn (Rs) vaikutus muokkaamattomasta rahkaturpeesta (S-t) tapahtuvaan haihduntaan.
Fig. 13. Dependence of the evapotranspiration from Sphagnum peat (S-t) on the depth of ground water table (Pv) and radiation (Rs).



Kuva 14. Pohjaveden syvyyden (Pv) ja säteilyn (Rs) vaikutus muokkaamattomasta sararahkaturpeesta (CS-t) tapahtuvaan haihduntaan.
Fig. 14. The dependence of evapotranspiration from unprepared Carex-Sphagnum peat (CS-t) on the depth of the ground water table (Pv) and radiation (Rs).



Kuva 15. Pohjaveden syvyyden (Pv) ja säteilyn (Rs) vaikutus muokkaamattomasta rahkasararaturpeesta (SC-t) tapahtuvaan haihduntaan.
Fig. 15. The dependence of evapotranspiration from unprepared Sphagnum-Carex peat (SC-t) on the depth of the ground water table (Pv) and radiation (Rs).

Pohjaveden syvyyden vaikutuksen erilaisuus rahkaturpeesta (S-t) ja rahkasaraturpeesta (SC-t) tapahtuvaan haihduntaan johtunee ainakin osittain turvelajien erilaisesta rakenteesta. Rahkaturvetta muodostuu rahkasammalen korkeuskasvun tuloksena siten, että rahkasammalyksilö kasvaa vähitellen korkeutta samalla alaosastaan maatuen. Koska rahkasammal maatuu yleensä erittäin hitaasti, saattaa lähes maatumaton rahkaturvekerros ulottua aina pohjaveteen saakka. Esim. tässä tutkimuksessa on maatumisaste ollut 30 cm syvyydessä H_1 (v. Postin mukaan, syvemmältä ei ole tutkittu). Näin on syntynyt elävän pintakasvillisuuden kautta tapahtuvan haihtumisvirtauksen kannalta edulliset olosuhteet ja pohjaveden syvyyden vaikutus on lieventynyt.

Toisin kuin rahkaturve on rahkasaraturve ollut rakenteeltaan kerroksellista. Tähän on ollut erityisesti vaikuttamassa turpeen runsas Molinia-pitoisuus. Turpeen kerroksellisesta rakenteesta johtuen lieneekin haihtumisvirtauksen välitön vaikutus ulottunut rahkasaraturpeessa vain verrattain rajoitettuun pintakerrokseen ts. vain pintakasvillisuuden juuriston syvyydelle. Rahkasaraturpeen maatumisaste on ollut verrattain korkea (30 cm syvyydessä H_6 v. Postin mukaan). Kapillaariveden nousukorkeus on sitä suurempi mitä maatuneempaa turve on. Toisaalta hyvin ohuet kapillaariputket rajoittavat veden nousunopeutta. Pohjaveden ollessa 50—70 cm syvyydessä on, edellä esitetyistä syistä johtuen, kapillaarinen veden nousu pintakasvillisuuden juurikerrokseen ja haihtumisvirtauksen vaikutusalueelle rahkasaraturpeessa ollut verrattain hidasta ja näin pohjaveden syvyys onkin muodostunut voimakkaasti haihduntaa rajoittavaksi tekijäksi (vrt. Paavilainen ja Virrankoski 1967).

Taulukossa 9 on esitetty myös kokonaissäteilyn, pohjaveden syvyyden ja pintaturpeen kosteuden avulla lasketut haihdunnan regressioyhtälöt eri turvelajeille. Taulukosta havaitaan, että pintaturpeen kosteus ei ole rahkaturpeella (S-t) lainkaan päässyt mukaan regressioyhtälöön. Sen sijaan sararahkaturpeella (CS-t) on tällä tavalla saavutettu korkeampi selitysaste kuin pelkästään säteilyn ja pohjaveden syvyyden avulla. Rahkasaraturpeella (SC-t) turpeen kosteuden lisääminen selittäväksi tekijäksi ei ole aiheuttanut merkittävää selitysasteen paranemista.

Käytännössä suoritettavia mittauksia silmällä pitäen on katsottu tarpeelliseksi tutkia myös kyllästysvajauksen käyttöä kokonaissäteilyn sijasta haihduntaa selittävänä tekijänä (taulukko 9). Rahkaturpeella (S-t) tämä on osoittautunut selvästi edellä esitettyä huonommaksi vaihtoehdoksi. Sen sijaan sararahkaturpeella (CS-t) ja rahkasaraturpeella (SC-t) ero on ollut verrattain vähäinen.

Tutkimusaineiston pohjalta on pyritty kehittämään myös kaikkien edellä käsiteltyjen tekijöiden yhteinen malli, jossa siis eri turvelajeilla haihduntaa selittämässä ovat olleet kaikki edellä mainitut tekijät sekä näiden neliöt ja

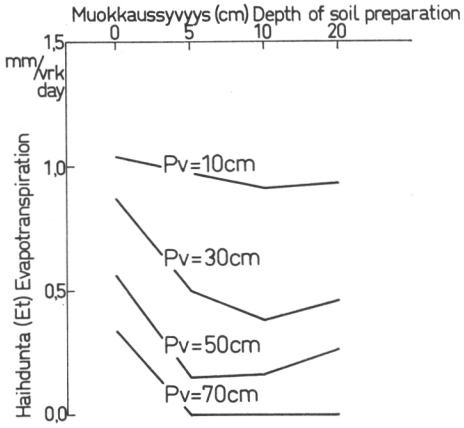
tekijöiden väliset parittaistulot. Taulukko 9 kuitenkin osoittaa, että rahkaturpeella eivät kosteus ja kyllästysvajaus ole päässeet malliin mukaan eikä sararahka- ja rahkasaraturpeellakaan ole näin saatu aikaan merkitsevää mallin parantumista. Taulukossa 9 esitettyjen tulosten perusteella voidaankin todeta, että tutkimusolosuhteissa muokkaamattomasta turpeesta tapahtuva haihdunta voidaan selittää verrattain hyvin lineaarisella mallilla, jossa selittävinä tekijöinä ovat säteily ja pohjaveden syvyys.

45. Muokkauksen vaikutus haihduntaan

Luvuissa 41.—44. esitetyt haihdunnan regressioyhtälöt on laskettu ainoastaan muokkaamattomien koejäsenien perusteella. On kuitenkin ilmeistä, että muokkaus, tuhotessaan turpeen luontaisen rakenteen, katkaisee kapillaariyhteyksiä ja vaikuttaa näin myös voimakkaasti haihdunnan määrään. Haihdunnan riippuvuutta muokkaussyvyydestä selvittää seuraava koko havaintojakson perusteella laskettu lukusarja:

Muokkaus-syvyys, cm	Haihdunta mm/vrk	
0	0,71	
5	0,42	
10	0,37	0,40
20	0,41	

Asetelman luvut osoittavat, että haihdunta muokkaamattomasta turvepinnasta on ollut lähes kaksinkertainen (kerroin 1,78) muokatun pinnan haihduntaan verrattuna. Ero on ollut tilastollisesti erittäin merkitsevä. Samantapaisia tuloksia on myös King (1910) saanut kivennäismaiden kapillaarista veden nousua selvittelevissä kokeissa. King mukaan jo 2—3 tuuman syvyinen muokkaus on vähentänyt haihduntaa 54—64 %. Sen sijaan muokkaussyvyys ei näytä vaikuttaneen haihduntaan. Tulosten valossa näyttääkin siltä, että pelkästään elävän pintakasvillisuuden tuhoaminen ja sen kautta tapahtuvan haihtumisvirtauksen loppuminen olisi ratkaisevasti vähentänyt haihdunnan määrää. Kuvassa 16 on esitetty muokkauksen vaikutus haihduntaan koko havaintojakson keskiarvoina eri pohjaveden syvyyksillä. Kuvasta havaitaan, että muokatuissa koejäsenissä haihdunta on ollut voimakkaammin riippuvainen pohjaveden syvyydestä kuin muokkaamattomissa.



Kuva 16. Keskimääräinen vuorokautinen haihdunta pohjaveden syvyyden ja muokkaussyvyyden vaihdellessa (pohjaveden syvyys kokeen alussa).

Fig. 16. Daily mean evapotranspiration at different depths of the ground water table and soil preparation (ground water depths in the beginning of the experimental period).

Pohjaveden syvyyden erilaista vaikutusta muokatusta ja muokkaamattomasta turvepinnasta tapahtuvaan haihduntaan on tarkasteltu lähemmin regressioanalyysin avulla (taulukko 10). Taulukon regressioyhtälöt on laskettu turvelajeja erittelemättä selittävinä tekijöinä pohjaveden syvyys ja kokonaissäteily.

Verrattaessa taulukkojen 9 ja 10 yhtälöiden avulla saatuja R:n ja Se:n arvoja keskenään muokkaamattoman turvepinnan osalta todetaan, että turvelajien yhdistämisellä on saatu aikaan selitysasteen suureneminen.

Taulukko 10. Haihdunta (Et) muokkaamattomasta ja muokatusta turvepinnasta pohjaveden syvyyden (Pv) ja kokonaissäteilyn (Rs) funktiona.

Table 10. Evapotranspiration (Et) from unprepared and prepared peat as a function of the depth of the ground water table (Pv) and total radiation (Rs).

Käsittely *Treatment*	Regressioyhtälö *Regression equation*	R	Se	$\bar{E}t$
Muokkaamaton turvepinta — *Unprepared peat* ...	$Et = 0.38179 + 0.0054007\ Rs - 0.0000735\ Pv \cdot Rs$	0.88	0.2136	0.8118
Muokattu turvepinta — *Prepared peat*	$Et = 0.62584 - 0.0221667\ Pv + 0.0047348\ Rs - 0.0000774\ Rs \cdot Pv + 0.0002204\ Pv^2$	0.95	0.1552	0.4900

Tämä johtuu taulukon 10 keskiarvolukujen alkuperäisiä — turvelajeittain laskettuja — lukuja pienemmästä hajonnasta. Muokatusta turvepinnasta tapahtuva haihdunta on voitu selittää erittäin hyvin (90 %) pohjaveden syvyyden ja säteilyn avulla (taul. 10).

Tarkasteltaessa edellä esitettyjen yhtälöiden selittävien muuttujien ja haihdunnan välisiä korrelaatioita (taul. 11) havaitaan, että muokatuissa koejäsenissä on pohjaveden syvyyden merkitys ollut erityisen suuri ja säteilyn merkitys vähäisempi. Muokkaamattomissa koejäsenissä sen sijaan pohjaveden syvyys ja säteily ovat olleet verrattain samanarvoisia.

Taulukko 11. Selittävien muuttujien — säteily (Rs) ja pohjaveden syvyys (Pv) — ja haihdunnan (Et) väliset korrelaatiot muokkaamattomissa ja muokatuissa koejäsenissä.
Table 11. Correlation between independent variables — radiation (Rs) and ground water depth — and evapotranspiration (Et) in prepared and unprepared experimental members.

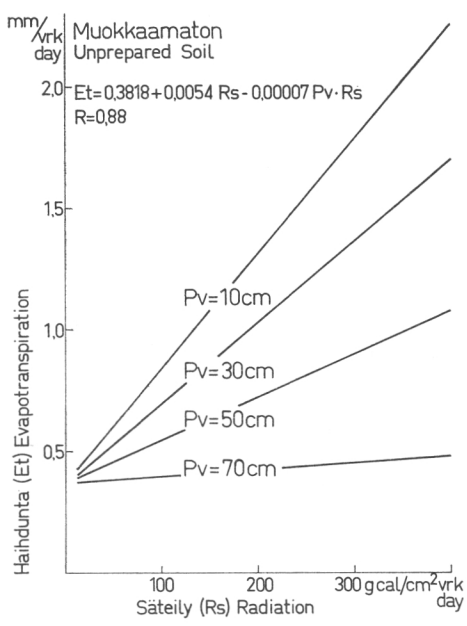
Muokkauskäsittely *Preparation*	Korrelaatiokerroin r, kun selittävänä tekijänä on *Correlation coefficient (r) when ··· is the independent factor*			
	Pv	Rs	Pv. Rs	Pv^2
Muokkaamaton — *Unprepared*	—0.66	0.51	—0.22	—0.63
Muokattu — *Prepared*	—0.88	0.31	—0.46	—0.76

Erityisen selvästi pohjaveden syvyyden erilainen vaikutus haihduntaan muokkaamattomissa ja muokatuissa koejäsenissä ilmenee taulukossa 10 esitettyjen regressioyhtälöiden perusteella piirretyistä kuvista 17 ja 18.

Kuvasta 17 havaitaan, että muokkaamattomasta turvepinnasta tapahtuva haihdunta on ollut erittäin voimakkaasti riippuvainen pohjaveden syvyydestä, jos säteily on ollut runsasta. Sen sijaan säteilyn ollessa vähäinen ei pohjaveden syvyydellä näytä olleen sanottavaa vaikutusta haihdunnan määrään (vrt. kuvat 13, 14 ja 15).

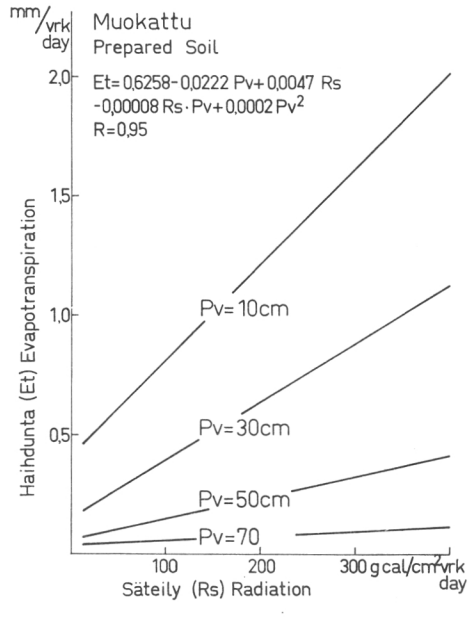
Muokatusta turvepinnasta tapahtuva haihdunta (kuva 18) sen sijaan on ollut erittäin voimakkaasti riippuvainen pohjaveden syvyydestä pienilläkin säteilyn määrillä. Niinpä säteilyn ollessa 10 gcal/cm^2 vrk. ja pohjaveden 10 cm syvyydessä on haihdunta muokkaamattomasta turvepinnasta ollut 0,44 mm/vrk. ja muokatusta 0,46 mm/vrk. Säteilyn ollessa sama kuin edellä, mutta pohjaveden ollessa 70 cm syvyydessä, on haihdunta muokkaamattomasta turvepinnasta ollut 0,38 mm/vrk., mutta muokatusta turvepinnasta vain 0,04 mm/vrk.

Tulosten valossa vaikuttaa siltä, että elävä pintakasvillisuus on haihduttanut jonkin verran, vaikka saapuvan energian määrä on ollut niinkin pieni kuin 10 gcal/cm^2 vrk. ja että haihdunta on tällöin ollut pohjaveden



Kuva 17. Haihdunta muokkaamattomasta turvepinnasta pohjaveden syvyyden (Pv) ja säteilyn (Rs) funktiona.

Fig. 17. Evapotranspiration from unprepared peat soil as a function of the depth of the groundwater table (Pv) and radiation (Rs).



Kuva 18. Haihdunta muokatusta turvepinnasta säteilyn (Rs) ja pohjaveden syvyyden (Pv) funktiona.

Fig. 18. Evaporation from prepared peat soil as a function of the depth of the ground water table (Pv) and radiation (Rs).

syvyydestä (10—70 cm) riippumaton. Sen sijaan muokatuissa koejäsenissä, joissa ei ole ollut aktiivisia veden käyttäjiä, pohjaveden syvyys ja säteily ovat olleet lähes ainoat haihdunnan määrään vaikuttavat tekijät. Mielenkiintoista on todeta, että pohjaveden syvyyden vaikutus muokkaamattomasta rahkasaraturpeesta (SC-t) ja muokatusta turpeesta tapahtuvaan haihduntaan on ollut hyvin samantapainen, vaikkakin vaikutus edellisessä tapauksessa on ollut jonkin verran heikompi.

5. YHTEENVETO

Tutkimuksessa on pyritty kasvihuoneolosuhteissa selvittämään säteilyn, kyllästysvajauksen ja lämpötilan sekä turvelajin, pohjaveden syvyyden, pintaturpeen kosteuden ja muokkauksen vaikutusta turpeesta tapahtuvaan haihduntaan. Tuloksista on havaittavissa, että haihdunta on ollut eniten riippuvainen säteilyenergian (Rs) ja haihdunnalle alttiin veden määrästä, jota kuvaavat pohjaveden syvyys ja pintaturpeen kosteus.

Haihdunnan vuorokautista vaihtelua on pyritty kuvaamaan myös ilman keskimääräisen päivänaikaisen kyllästysvajauksen ja lämpötilan avulla. Selitysaste on kuitenkin yleensä jäänyt selvästi pienemmäksi kuin käytettäessä pelkästään säteilyä selittävänä tekijänä. Säteilyn ja haihdunnan välillä on vallinnut positiivinen lineaarinen korrelaatio.

Haihdunnalle alttiin veden määrää on kuvattu pohjaveden syvyyden (Pv = 10, 30, 50 tai 70 cm) ja pintaturpeen (0—10 cm) kosteuden (W) avulla. Pohjaveden syvyyden ja haihdunnan välillä on todettu kiinteä negatiivinen sekä turpeen kosteuden ja haihdunnan välillä kiinteä positiivinen korrelaatio. Kokeen aikana ei turvetta ole kasteltu pinnalta käsin, vaan haihduntaa vastaava maan vesivaraston täydennys on tapahtunut pohjaveden kautta. Ilmeisesti tästä johtuen ovat pohjaveden syvyys ja pintaturpeen kosteus korreloineet kiinteästi keskenään ja selittäneet haihduntaa lähes yhtä hyvin. Luonnon oloissa lienee pintaturpeen kosteus kuitenkin parempi haihdunnan selittäjä, sillä esim. sateen ei välttämättä tarvitse tuntua pohjaveden syvyyden vaihtelussa, mutta se lisää kuitenkin haihtumiselle alttiin veden määrää.

Pohjaveden syvyyden vaikutus haihduntaan on ollut turvelajista riippuvainen siten, että rahkaturpeella (S-t) vaikutus on ollut heikoin ja rahkasaraturpeella (SC-t) voimakkain. Kolmannesta kokeessa käytetystä turvelajista, sararahkaturpeesta (CS-t) tapahtuva haihdunta on myös ollut selvästi voimakkaammin riippuvainen pohjaveden syvyydestä kuin rahkaturpeesta tapahtuva haihdunta. Pohjaveden syvyyden vaikutuksessa havaitut erot eri turvelajeista tapahtuvassa haihdunnassa voidaan selittää vain turvelajien erilaisen rakenteen perusteella.

Muokkauksen on todettu erittäin voimakkaasti vähentäneen haihduntaa. Muokkauksen syvyydellä (5, 10 ja 20 cm) sen sijaan ei ole havaittu olevan selvää vaikutusta haihdunnan määrään. Viiden senttimetrin syvyisellä

muokkauksella, joka vastaa vain elävän sammalkerroksen ylimmän osan luonnontilaisen rakenteen tuhoamista, on saavutettu sama vaikutus haihduntaan kuin syvimmällä (20 cm) muokkauksella. Kapillaarisen veden nousun katkeamisella sekä elävän pintakasvillisuuden kautta tapahtuvan haihtumisvirtauksen loppumisella on täten ollut ratkaiseva merkitys turpeesta tapahtuvassa haihtumisessa.

Useissa yhteyksissä (esim. Huikari 1959, Mustonen ja Laikari 1961, Mustonen 1964) on todettu, että luonnontilaisen suon ojitus on lisännyt voimakkaasti vuosivaluntaa. Pääasiallisena syynä on ollut haihdunnan väheneminen. Edellä esitettyjen tulosten perusteella näyttää myös muokkaus vähentävän voimakkaasti haihduntaa. Missä määrin tämä eri olosuhteissa vaikuttaa valunnan ja kuivatustehon tarpeen lisääntymiseen, jää myöhempien tutkimusten selvitettäväksi.

KIRJALLISUUSLUETTELO

Baier, W. and Geo. W. Robertson, 1965. Estimation of Latent Evaporation from simple Weather Observations. Can. J. of Plant Sci. May 1965 nr 3.

Eggelsmann, R. 1957. Zur Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Bodenfeuhte und oberflächennahem Grundwasser. Die Wasserwirtschaft, 47: 11.

Fortier, S. 1907. Evaporation losses in irrigation. Eng. News, Vol. 58.

Glougart, A. 1968. Kulturforhold under Glas. Køpenhavn.

Harris, F. S. and J. S. Robinson. 1916. Factors affecting the evaporation of moisture from the soil. Jour. Agric. Res., Vol. 7.

Haude, W. 1953. Abfluss, Grundwasserstand, Verdunstung einer fast ebenen, begrenzten landwirtschaflichen Nutsfläche. Wasser und Boden, Heft 8.

Heinonen, R. J. 1965. Markens vattenhushållning och jordbearbetningen. Aktuellt från landbrukshögskolan nr 69.

—»— 1968. Swedisch studies on minimum tillage. Proceedings of the International Scientific Symposium, Problems of soil cultivation. June 22—24, 1966 Brno, Czechoslovakia.

Heikurainen, L. 1957. Rämemänniköiden juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen. Acta Forestalia Fennica 65. Referat: Der Wurzelaufbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung.

—»— 1964. On using ground water table fluctuations for measuring evapotranspiration. Acta Forestalia Fennica 76.

—»— 1967. Hakkuun vaikutus ojitettujen soiden vesitalouteen. *Summary:* On the influence of cutting on the water economy of drained peat lands. Acta Forestalia Fennica 82.

—»— J. Päivänen and J. Sarasto. 1964. Ground water table and water content in peat soil. Acta Forestalia Fennica 77.

Huikari, O. 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta soiden pieneliöstöön. Summary: Studies on the effect of drainage and ash fertilizatiron upon the microbes of some swamps. Comm. Inst. Forest. Fenn. 42.

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

Juusela, T. 1945. Untersuchungen über den Einfluss des Entwässerungsverfahrens auf den Wassergehalt des Bodens, den Bodenfrost und die Bodentemperatur. Acta Agralia Fennica 59.

—»— 1962. Ein zur unmittelbaren Messung der Verdunstung der Bodenoberfläche benutztes Verfahren. Zeitschrift für Kulturtechnik 3. Jahrgang, Heft 3.

Keen, B. A. 1927. The limited role of capillarity in supplying water to the plant roots. Proc. and Papers of the 1st Internat. Cong. Soil Sci., Vol. 1.

King, F. H. 1910. A text book of the physics of agriculture. 5th ed. Madison, Wis.

Kivinen, E. 1948. Suotiede. Porvoo.

Konstantinov, A. R. 1966. Evaporation in nature. Translated from Russian. Jerusalem.

Kusin, N. S. 1936. Neue Methode zur Berechnung der Mittelwerte der Verdunstung von der Strömgebieteoberfläche und der Abflussmenge mit Vergleich der Berechnungs — und Beobachtungsergebnisse. V Hydrologische Konferenz der baltischen Steeten. Finnland, Juni 1936, Bericht 10. Helsinki.

Ladefoged, K. 1956. Undersökelser over träernes vandforburg. Dansk skovforeningstidskrift. 10 h.

Miller, A. A. 1953. The skin of the earth. Methuen, London.

Molchanov, A. A. 1963. The hydrological role of forests. Academia Nauk SSSR. Institut Lesa. Translated from Russian. Oldborne Press, London.

Mustonen, S. 1964. Ojituksen vaikutuksesta suon hydrologiaan. Rakennustekniikka 3.

—»— ja Laikari, H. 1961. Ojituksen vaikutuksesta valuntaan Huhtisuon havaintoalueella. Maatal. hall. ins. os. maa- ja vesitekn. tutkimustoimisto. Tiedoitus 2/1961.

Nielsen, B. F. 1962. Evapotranspiration og vanding i väeksthuse. Horticultura nr 11.

Paarlahti, K. ja U. Vartiovaara. 1958. Havaintoja luonnontilaisten ja metsäojitettujen soiden pieneliöstä. Summary: Observations concerning the microbial populations in virgin and drained peat soils. Comm. Inst. Forest. Fenn. 50.

Paavilainen, E. 1963. Turpeen vesipitoisuudesta ja pohjavesipinnasta. *Summary:* On water content of peat and ground water level. Suo n:o 8—9. Lahti.

—»— 1966. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämemännikön juurisuhteisiin. Summary: On the effect of drainage on root systems of scots pine on peat soils. Comm. Inst. Forest. Fenn. 61.

Paavilainen, E. ja K. Virrankoski. 1967. Tutkimuksia veden kapillaarisesta noususta turpeessa. Summary: Studies on the capillary rice of water in peat. Folia Forestalia 36.

Parshall, R. L. 1930. Experiments to determine rate of evaporation from saturated soils and river bed sands. Trans. Amer. Civ. Eng., Vol. 94.

Päivänen, J. 1964. Menetelmä pohjavesikertoimen ja pintakasvillisuuden haihdunnan määrittämiseksi. Summary: A method to determine the ground water coefficient and the ground vegetation transpiration. Suo n:o 6. Lahti.

—»— 1968. Pohjavesipinta ja turpeen vesipitoisuus rahkamättäisellä lyhytkortisella nevalla. Summary: Ground water level and water content of peat in an open low-sedge swamp with Sphagnum fuscum hummocks. Suo n:o 2. Helsinki.

Romanov, V. V. 1956. Hydrophysical methods of calculating the water balance of bogs. Pochvovedenie, nr. 8, Translated from Russian.

Schofield, R. K. 1935. The pF of the water in soil: Trans. Third Internat. Cong. Soil Sci. II (Oxford).

Stålfelt, M. G. 1944. Granens vattenförbrukning och dess inverkan på vattenomsättningen i marken. Kungl. Lantbruksakad. Tidskr. nr. 6.

Tanner, C. B. 1957. Factors affecting evaporation from plants and soils. Jour. Soil and Water Cons., Vol. 12.

Todd, D. K. 1959. Ground water hydrology. John Wiley & Sons, Inc., Chapman & Hall, New York—London.

Veihmeyer, F. J. 1938. Evaporation from soils and transpiration. Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 19.

—»— and F. A. Brooks. 1954. Measurements of cumulative evaporation from bare soil. Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 35.

—»— and A. H. Hendrickson. 1931. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. Soil Sci. 32.

Virta, J. 1966. Measurement of evapotranspiration and computation of water budget in treeless peatlands in the natural state. Comm. Physico-Mathem. Soc. Scient. Fenn., Vol. 32, No 11.

Waldleigh, C. H. and A. D. Ayers. 1945. Growth and biochemical composition of bean plants as conditioned by soil moisture tension and salt consentration. Plant Physiol. 20.

Ward, R. C. 1967. Principles of Hydrology. London.

Whitney, M. and F. K. Cameron. 1904. Investigations in soil fertility, U.S. Dept. Agric. Bur. Soils. Bull., 23.

Widtsoe, J. A. 1909. Irrigation investigations; factors influencing evaporation and transpiration, Utah. Agr. Exp. Sta. Bull., 105.

—»— 1914. The principles of irrigation practice. New York, London.

Wäre, M. 1947. Maan vesisuhteista ja viljelyskasvien sadoista Maasojan vesitaloudellisella koekentällä vuosina 1939—1944. *Referat:* Über die wasserverhältnisse des Bodens und die Erträge von Kulturpflanzen auf dem wasservirtschaftlichen Versuchsfeld Maasoja in den Jahren 1939—1944. Soil and hydrotechnical investigations 5.

SUMMARY

The present study was an attempt to find out, under conditions prevailing in greenhouses, the influence of radiation, saturation deficit, temperature, peat kind, depth of ground water table, moisture of superficial peat, and soil preparation on the evapotranspiration taking place from peat.

For the investigation a sampling device was constructed which made it possible to extract undisturbed samples of a fixed volume, the diameter of the samples being 190 mm. and the length, 80 cm. (Figs. 1—3). In addition, an uncomplicated lysimeter (Figs. 4—6) was developed, with the aid of which the ground water table in peat samples could be adjusted to a fixed level and the lowering of the ground water table resulting from evapotranspiration measured at a precision of 0.1 mm.

On the basis of the results obtained it may be concluded that the rate of evapotranspiration primarily depends on the energy of radiation (Rs) and the quantity of water exposed to evaporanspiration, the latter of which is reflected by the depth of the ground water table and the moisture content of the topmost peat layer.

Attempts were also made to describe diurnal variation of the evapotranspiration with the aid of the daytime mean saturation deficit and temperature. Hereby, however, the degree of explanation usually remained clearly smaller than when radiation alone was used as independent variable (tables 1—2). Between the radiation and evapotranspiration the results revealed a positive linear correlation (fig. 7; table 2).

The quantity of water exposed to evapotranspiration was expressed by the aid of the depth of the ground water table (Pv = 10, 30, 50, or 70 cm.) and the moisture content (W) of the topmost (0—10 cm.) peat layer. Between the depth of the ground water table and evapotranspiration, a close negative (fig. 9; table 4), and between the moisture content of peat and evapotranspiration, a close positive correlation (fig. 12; table 8) were established. During the time of the experiment the peat was not watered from above, the loss of water due to evapotranspiration was compensated for from below. Probably because of this circumstance, the depth of the ground water table and the moisture content of the topmost peat layer showed a close correlation (fig. 11; tables 6—7) and explained evapotranspiration almost equally well. Under natural conditions, however, the moisture content of superficial peat is probably superior to ground water depth as an explanator of evapotranspiration, for rain, for instance, does not necessarily have to be reflected as a change in the depth of the ground water table, although it adds to the quantity of water exposed to evapotranspiration.

Depending on the kind of peat in question (figs. 9, 13—15; tables 3 and 9) the depth of the ground water table affected evapotranspiration such that its influence was smallest in *Sphagnum* peat (S-t) and greatest in *Sphagnum-Carex* peat (SC-t). For the third kind of peat examined in the study, too, namely *Carex-Sphagnum* peat (CS-t), evapotranspiration showed a clearly greater dependence on the depth of the

ground water table than for *Sphagnum* peat. The differences in the influence of the ground water depth on evapotranspiration from the different kinds of peat can only be explained on the basis of differences in the structure of these peats.

The study also indicated that soil preparation quite strongly reduced evapotranspiration (figs. 16—18; tables 10—11). The thickness of the prepared soil layer, on the other hand, showed no clear influence on evapotranspiration. Preparation of only the topmost 5-cm. layer, which means that the natural structure of the topmost part of the living moss layer only was destroyed, had a similar influence on evapotranspiration as deeper soil preparation. This result reveals that cutting off capillary water flow and stopping the upward movement caused by plant transpiration are of decisive importance for the evaporatranspiration from peat.

Several research workers (e.g., Huikari 1959, Mustonen and Laikari 1961, Mustonen 1964) have established that artificial drainage of peatlands strongly increases the annual runoff. The principal reason for this is the decrease in evapotranspiration. On the basis of the results presented in the foregoing, it seems that soil preparation, too, strongly decreases evapotranspiration. To which extent this circumstance affects the increase in run-off and the need for more efficient drainage than previously is left for later studies to find out.

METSÄOJAKAIVUREIDEN TYÖTEHO JA EHDOTUS KAIVUVAIKEUSLUOKITUKSEKSI

MATTI AITOLAHTI—ERKKI NUMMINEN

SUMMARY:

ON THE EFFICIENCY OF LIGHT EXCAVATORS IN FOREST DITCHING AND A PROPOSAL FOR THE CLASSIFICATION OF DIGGING DIFFICULTY

HELSINKI 1968

Helsinki 1969. Valtion painatuskeskus

Alkusanat

Lapiotyönä tapahtuvan metsäojien kaivun kustannusarvion laadintaa ja itse kaivutyön hinnoitusta varten on ollut käytettävissä erittäin pitkälle kehitetyt metsäojien hinnoitustaulut. Koneellista kaivua silmällä pitäen ei vastaavia taulukoita ole laadittu osittain siitä syystä, että koneelliset kaivumenetelmät ovat tähän saakka olleet jatkuvasti voimakkaassa kehitysvaiheessa ja toisaalta töiden hinnoitus on määräytynyt urakkakilpailun perusteella.

Kun nyt koneellisessa kaivussa on päästy jo siihen vaiheeseen, että metsäojia voidaan kaivaa monilla erilaisilla koneellisilla menetelmillä ja kaivureiden sekä kevyiden kaivukoneiden käyttö on voimakkaasti viime aikoina yleistynyt, on tullut ajankohtaiseksi kenttätutkimusten perusteella selvittää erikoisesti kaivurityön hinnoitteluperusteet ja kehittää kaivuvaikeusluokitusjärjestelmä, joka käytännön työssä mahdollisimman vähäisellä ajan käytöllä antaa objektiivisen perustan kaivutyön toteuttamisen ennakkohinnoittelulle ja kaivutyön urakoinnissa työn toteuttajille mahdollisuuden tehdä urakkatarjouksensa suunnitelma-asiakirjoista ilmeneviin vaikeusluokitusperusteisiin nojautuen.

Tämä tutkimus, jonka kenttätyöt suoritettiin vuonna 1967, on lähinnä jatko- ja rinnakkaistyö maat.-metsät. lisensiaatti Erkki Nummisen vuonna 1964 julkaisemalle metsäojakaivureiden työtehotutkimukselle ja kaivuvaikeusluokitteluselvitykselle. Siksi tutkimussuunnitelma on pääpiirteissään samanlainen kuin se, joka laadittiin vuoden 1964 tutkimusta varten metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastolla metsäteknologian tutkimusosaston kanssa yhteistyössä. Uuden tutkimussuunnitelman laatimisen, aineiston keruun ja käsittelyn sekä aikaeroihin perustuvan kaivuvaikeusluokituksen ja taksaohjeen mallin laatimisen on lisensiaatti Nummisen ja allekirjoittaneen ohjauksessa suorittanut metsänhoitaja Matti Aitolahti metsänhoitaja Pertti Veijalaisen avustamana. Valtiotieteiden ylioppilas Jaakko Simpanen on avustanut aineiston matemaattisessa käsittelyssä. Julkaisun käsikirjoituksen on allekirjoittaneen ja lisensiaatti Nummisen ohjauksessa laatinut metsänhoitaja Aitolahti.

Metsäojitustöiden tarkastaja Matti Niskanen Keskusmetsälautakunta Tapion metsänparannusosastolta on avustanut tutkimussuunni-

telman viimeistelyssä ja tehnyt julkaisun käsikirjoitukseen arvokkaita huomautuksia. Professori Veijo Heiskanen on tarkastanut käsikirjoituksen tehden merkittäviä ja varteen otettuja parannusehdotuksia. Apulaisprofessori Olli Makkonen on myös tutustunut julkaisun käsikirjoitukseen ja antanut arvokkaita neuvoja periaatteiltaan uutta kaivuvaikeusluokitusta laadittaessa.

Kaivuvaikeusluokituksen ja taksaohjeen koekappaleita lähetettiin syksyllä 1967 koneyrittäjille sekä yksityismetsätalouden, metsähallituksen että maataloushallituksen ojitustyön toteutuksesta vastaaville toimihenkilöille kahteensataankuuteenkymmeneen työpisteeseen eri puolille maata koekäyttöä varten. Saaduista vastauksista on ollut suurta hyötyä luokituksen tarpeen ja käyttökelpoisuuden selvittämisessä sekä edelleen kehittämisessä.

Tutkimustyö on rahoitettu osittain metsänparannusvaroilla ja osittain suontutkimusosaston tutkimusvaroilla. Työmailla ovat kaikki ojituskoneyksiköiden omistajat ja koneiden käyttäjät sekä maanomistajien edustajat antaneet auliisti apuaan ja vaikuttaneet täten ratkaisevasti tutkimuksen onnistumiseen.

Lausun sydämelliset kiitokset metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston puolesta kaikille edellä nimeltä mainituille sekä muille työssä avustaneille.

Helsingissä lokakuun 23 päivänä 1968.

Olavi Huikari

Sisällys

Sivu

1. Tausta ja päämäärät 6
2. Menetelmä ja aineisto 10
   21. Kenttätyöt 10
   22. Tulosten laskeminen 14
   23. Aineiston laajuus 15
3. Tulokset 17
   31. Työmaa-ajan jakaantuminen osa-aikoihin koko aineistossa 17
   32. Kuutiometrin kaivamiseen kulunut työmaa-aika osa-ajoittain ja keskimäärin 19
   33. Maaston vaikeuden vaikutus eri kuljettajien työtulokseen 22
   34. Kaivu- ja siirtoaikoihin vaikuttavat tekijät 25
      341. Kuljettaja ja koneyhdistelmä 25
      342. Kivisyys 27
      343. Pohjamaan laatu 27
      344. Ojan koko 30
      345. Puuston määrä 32
      346. Muut tekijät 33
4. Metsäojien kaivuvaikeusluokitus 35
   41. Metsäojien kaivun hinnoittelun tausta ja nykyinen tilanne 35
   42. Pisteinä ilmaistuihin tehoajan eroihin perustuva kaivuvaikeusluokitus . 36
      421. Luokituksen laadinnassa vaikuttaneet näkökohdat 36
      422. Metsäojien kaivurityön kaivuvaikeusluokitus- ja taksaohjeet 38
      423. Kaivuvaikeusluokituksen ja taksaohjeen käytäntöön soveltuvuuden tarkastelua 41
5. Yhdistelmä 42

Kirjallisuus 44

Summary 46

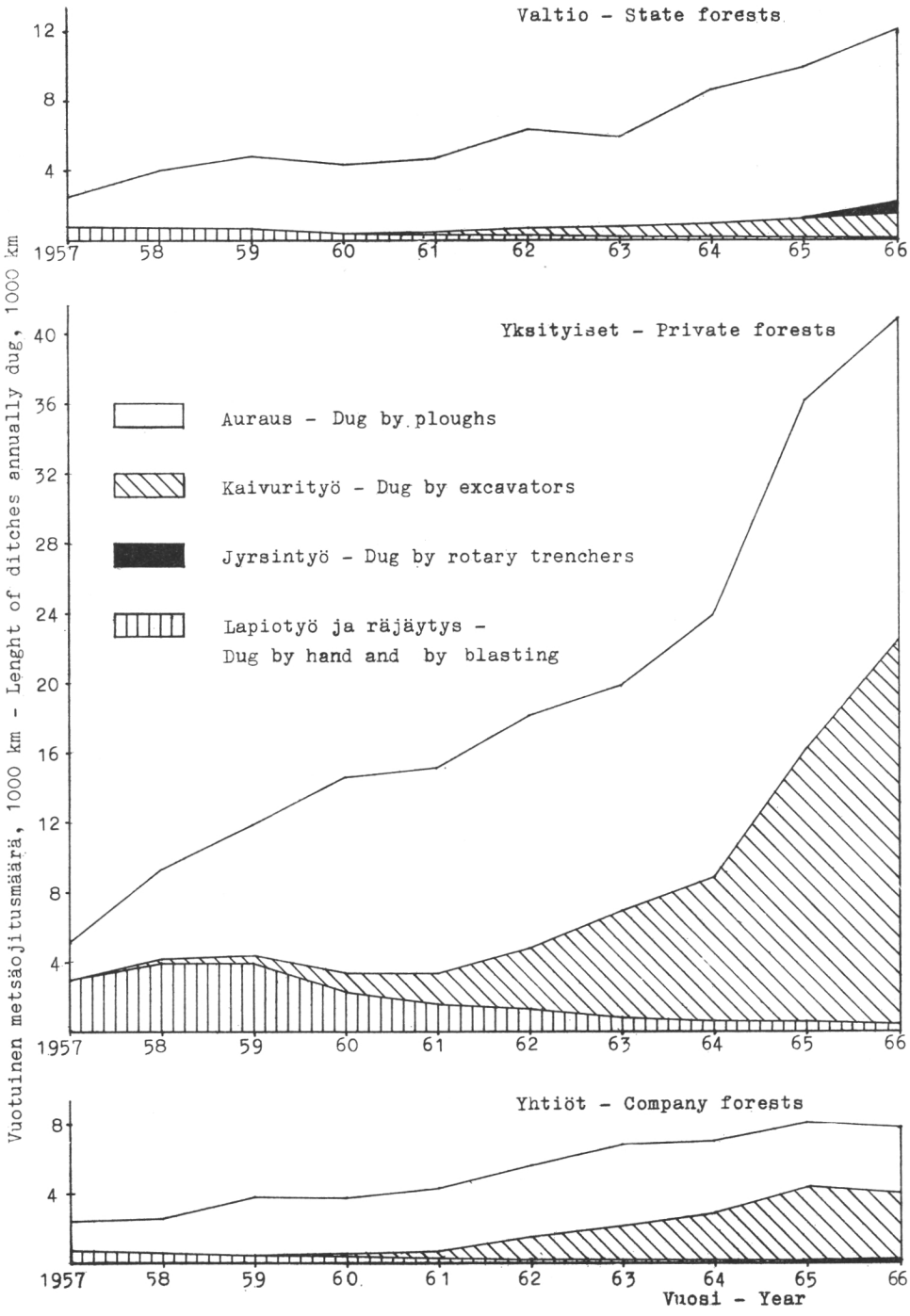
1. TAUSTA JA PÄÄMÄÄRÄT

Kaivukoneita on käytetty jo useita vuosikymmeniä erilaisiin maansiirto- ja ojitustöihin. Tänä aikana ovat kaivukoneet tekniikan yleisestikin edistyessä muuttuneet jatkuvasti tehokkaammiksi ja maastokelpoisemmiksi. Varsinkin 1950-luvun alusta alkanut erityisen voimakas kehitys tulee selvästi esille mm. kaivukoneiden ominaisuuksien esittelyssä ja työtehoselvityksissä (esim. Peltomäki 1954, Saarento 1961—62 ja 1962, Leppävuori 1968).

Koneiden nimityksissä pyritään käyttämään yleistä, käytännössä tosin hieman vaihtelevaa terminologiaa (vrt. esim. Huikari — Muotiala — Wäre 1964). Tällöin jo edellä käytetyllä sanalla kaivukone ymmärretään omalle alustalleen rakennettua pisto-, veto- tai kuokkakauhalla varustettua työkonetta. Sanalla kaivuri taas tarkoitetaan yleensä koneyksikköä, jossa telaketju- tai pyörätraktorissa on mekaaninen tai nykyään miltei yksinomaan hydraulinen kaivulaite. Käytännössä pelkkää kaivulaiteosaa kuulee toisinaan nimitettävän — varsinkin eri kaivulaitemerkkinimitysten yhteydessä — yleensä yhdistelmää tarkoittavalla sanalla kaivuri.

Kevyet kaivukoneet ja varsinkin kaivurit tulivat merkittäviksi vasta n. 10 vuotta sitten, kun ojia alettiin kaivaa pituussuuntaisesti oja- eli muotokauhoilla, joiden koko ja muoto vastasivat tarvittavan kuivatusojan yleisvaatimuksia (Huikari 1958, Pjavtšenko — Sabo 1962, Niskanen 1963 a). Koska kaivurit tarjoavat metsäojien teossa aurausmenetelmään verrattuna useita etuja (esim. Päivänen 1963), on niillä tehtyjen metsäojien määrä ja osuus yksikkökustannusten kalleudesta huolimatta eri työnantajaryhmillä kymmenvuotiskautena 1957—1966 kasvanut voimakkaasti (kuva 1). Vuonna 1967 arvioitiin koko maan metsäojituksista tehtävän jo 55 % kaivureilla, kaivukoneilla ja ojajyrsimillä (Niskanen 1968). Tällöin loput 45 % oli miltei yksinomaan Itä- ja Pohjois-Suomessa tapahtuvaa metsäojien aurausta. Aurauksenkin määrä on suhteellisen osuuden vähenemisestä huolimatta jatkuvasti kasvanut.

Maarakennusalan töissä tuotokset ja siten myös kustannukset riippuvat lähinnä maan kaivettavuudesta, minkä perusteella kunkin kohteen kaivuvaikeus voidaan määrittää. Tästä syystä Suomessakin on käytössä useita eri-



Kuva 1. Eri työmenetelmillä vuosittain tehtyjen metsäojien määrä valtion, yksityisten ja yhtiöiden omistamilla mailla vuosina 1957—1966.

Fig. 1. The ditch lengths annually dug during the period 1957—1966 on State-, private- and company-owned lands.

laisia kaivuvaikeusluokituksia, jotka on laadittu käytännön kokemusten ja työtehomittausten perusteella. Niitä esitellään maarakennusalan kustannusstandarditoimikunnan mietinnössä (Komiteamietintö 1967: B 27). Näitä luokituksia ei voida kuitenkaan käyttää pienikokoisten metsäojien kaivutyössä.

Kaivuvaikeusluokituksen laadinnassa tarvittavien työtehotietojen kerääminen oli päätavoitteena Nummisen kesällä 1963 suorittamassa kaivureiden työtehoa koskeneessa tutkimuksessa (N u m m i n e n 1964). Nyt esiteltävä työ on jatkoa kyseiselle Nummisen selvitykselle. Tämän tutkimuksen päämääränä on aikatutkimusmenetelmin kerätä ja analysoida havaintoja siitä, mitkä ojakohtaiset tekijät vaikuttavat metsäojien kaivun tuotokseen. Lisäksi pyritään kyseisiin kahteen aikatutkimusaineistoon pohjautuen selvittämään, miten metsäojien kaivuvaikeusluokitus olisi suoritettava. Koska menetelmien ja tulosten esittelyssä joudutaan toistuvasti suorittamaan rinnastuksia N u m m i s e n (1964) tutkimukseen, jonka aineisto kerättiin kesällä 1963, käytetään siitä jäljempänä tulosten julkaisuvuoden mukaisesti yleensä vain mainintaa vuoden 1964 aineisto ja vuoden 1964 tutkimus.

2. MENETELMÄ JA AINEISTO

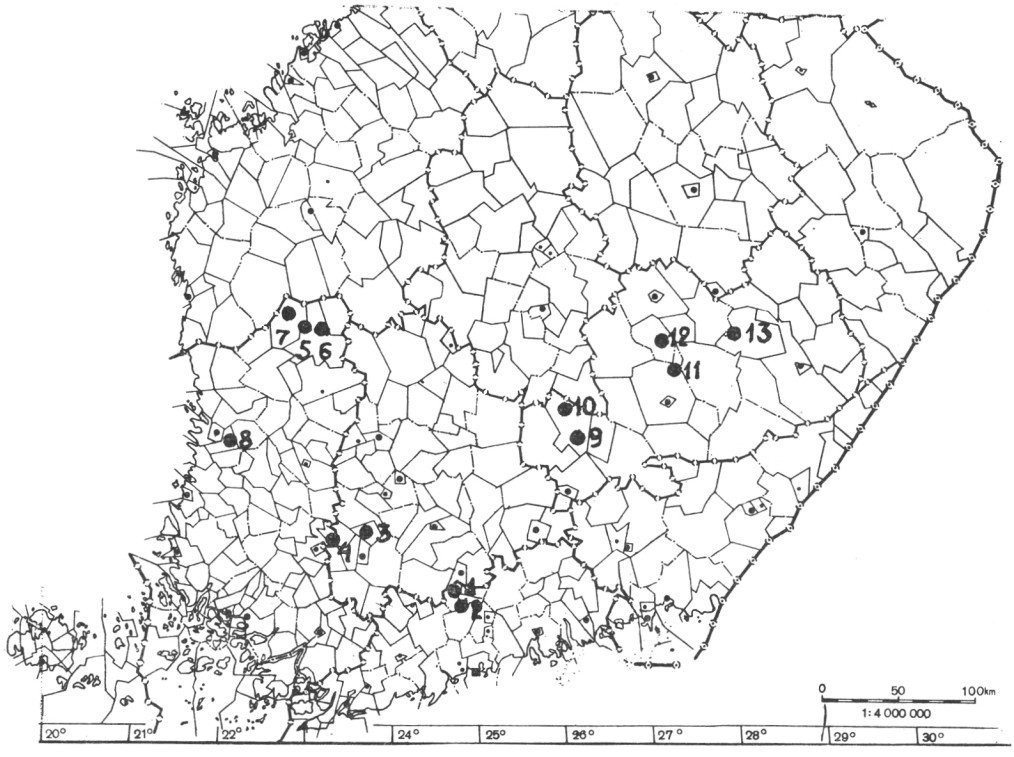
21. Kenttätyöt

Jatkotutkimusluonteensa vuoksi rajoitettiin selvitys koskemaan vain Ukko-Mestari- merkkistä kaivulaitetta käyttäviä kaivureita. Tarkoituksena oli saada tutkituksi vähintään kymmenen työyksikön työskentelyä kutakin noin kahden päivän ajalta. Tutkimuskohteet valittiin myöhemmin selvitettävällä tavalla Keskusmetsälautakunta Tapion Helsingin, Porin, Lahden ja Mikkelin metsänparannuspiirien alueilta niiltä työmaista ja työyksiköistä saatujen tietojen perusteella (kuva 2).

Maastotyöt suoritti kaksi tutkimusryhmää harjoiteltuaan ja työskenneltyään aluksi kaksi päivää samalla työmaalla. Täällä tutkimusryhmät päättivät lopullisesti, miten eri maastovaikeustekijät luokitetaan ja mitataan, yhdenmukaistivat luokituksensa ja mittauksensa sekä opettivat apumiehet aikatutkijan työhön ja erilaisiin tarvittaviin mittauksiin.

Samoin kuin vuoden 1964 tutkimuksessa muodostivat tutkimusryhmän johtaja ja kaksi apumiestä. Toinen ryhmä työskenteli Länsi-Suomessa (työmaat 1—8), missä esiintyy yleisesti vähäliekoisia ja ohutturpeisia soita sekä savikkosoistumia. Toinen ryhmä taas suoritti maastotutkimukset Keski- ja Itä-Suomessa (työmaat 9—13), missä on paljon melko liekoisia, syväturpeisia sekä metsäisiä soita. Kohteita valittaessa yhteistoiminnassa Keskusmetsälautakunta Tapion metsänparannusosaston kanssa pyrittiin saamaan tutkimukseen mukaan kaikki yleisimmin Etelä-Suomessa esiintyvät kesäajan kaivuolosuhteet.

Vuoden 1964 tutkimusten perusteella tiedettiin jo ennakolta kuljettajien suuri osuus työtulosten vaihteluissa. Tämän vähentämiseksi vaadittiin tutkimuskohteeksi otettavalta kuljettajalta tietty ammattikokemus, joka edellytti, että hän oli jo useamman vuoden kaivanut metsäojaa kaivurilla. Sitä vastoin kuljettajasta mahdollisesti edeltä käsin tiedetyn työskentelynopeuden ei annettu vaikuttaa kohteen valintaan. Vaikka itse kaivulaitemerkki vähäisiä tyyppieroja lukuun ottamatta olikin sama, ei traktoreissa pyritty tiettyyn konemerkkiin eikä -tyyppiin, joskin toisaalta tutkimustyömaihin pyrittiin saamaan mukaan yleisimmät Ukko-Mestari- kaivulaitteen käyttötraktorit (vrt. taulukko 2 s. 26). Tutkimustyömaan valintaan



Kuva 2. Tutkimustyömaiden sijainti.
Fig. 2. Geographical location of the work sites of the study.

vaikuttivat yleisen maastotyypin sekä kaivulaite- ja käyttötraktorimerkin lisäksi työmaan sisäiset maastovaikeuden erot niin, että mahdollisimman vaihtelevia työmaita suosittiin.

Maastotyöt suoritettiin kesä—heinäkuun vaihteessa. Koska tutkimushenkilökuntaa ja -aikaa oli rajoitetusti, keskityttiin tarkastelemaan ensisijaisesti kaivulaitteen käyttöaikaa ja tähän liittyviä lyhyitä siirtoja ojalinjalla kaivuasemasta toiseen. Kuitenkin tutkimusryhmät selvittivät kaikki kuljettajan tai saman työyksikön useampien kuljettajien työpäivän aikana suorittamat työvaiheet ja ruokailu-, lepo- ym. tauot eli seurasivat kuljettajan työtuloksia ja työmaa-ajan käyttöä työmaalle tulosta työmaalta lähtöön saakka, mikäli se oli suhteellisen helposti tehtävissä.

Jos kaivurille jouduttiin suorittamaan niin pitkäaikainen korjaus, että työtä ei samana päivänä viimeistään kolmen tunnin kuluttua keskeytyksestä voitu jatkaa, tutkimusryhmä siirtyi seuraavalle jo ennalta tiedustellulle varatyömaalle. Työtehon selville saamisen kannalta ei katsottu aiheelliseksi seurata saman kaivurin toimintaa enempää kuin kahden päivän ajan.

Keskeytyksistä johtuvat tai normaalit tutkimusryhmien työmaalta toiselle siirtymiset sekä erityisesti kuljettajien epäsäännölliset työajat aiheuttivat sen, että vain muutamina päivinä ja harvoilla työmailla voitiin selvittää kuljettajan koko työmaa-ajan jakaantuminen osa-aikoihin. Näistä syistä aineisto ei täysin edusta kuljettajan työmaa-ajan jakaantumista eri aikalajeihin.

Ojalinjan mittauksen ja paalutuksen sekä ennen kaivua tapahtuneiden maastovaikeustekijöiden selvityksen ohella ryhmänjohtaja mittasi ja luokitti toisen apumiehen kanssa myös kaivamisen jälkeen eräitä ojakohtaisia vaikeustekijöiden tunnuksia. Ryhmänjohtaja ja toinen apumies tekivät näitä kolmea työvaihetta päivän aikana vuorotellen niin, että kaivurin edessä oli aina vähän matkaa paalutettua ja ennakkoon luokitettua ojalinjaa ja ettei kaivettua ojaa ollut pitkälti jälkikäteen tutkimatta. Toinen apumies toimi aikatutkijana.

Ennen ojan kaivamista ryhmänjohtaja merkitsi omien havaintojensa ja apumiehen mittausten perusteella numerokoodein seuraavat tiedot maastoluokituslomakkeelle:

1. Työmaan numero; kummallakin ryhmällä oli oma juokseva numerointinsa.
2. Paaluväli; tutkimusyksikkönä oli 10 m, ja jokaisella työmaalla näiden paalujen numerointi alkoi 1:stä.
3. Suotyyppi; kahdella numerolla, jolloin ensimmäinen numero merkitsi suon päämuotoa ja toinen suon ravinteisuusluokkaa Ojitusoppaan mukaisesti (Huikari — Muotiala — Wäre, 1964).
4. Puuston määrä; luokka määräytyi ojalinjan puuston määrän perusteella ja käytettiin samoja luokkia kuin vuonna 1964: 1 = ei puustoa; 2 = harva rämepuusto, alle 30 k-m³/ha; 3 = harvennusmetsä; 4 = tukkipuita harvakseltaan ja 5 = tukkimetsä.
5. Ojalinjan raivaus; kolme luokkaa: 1 = ojalinjalla olevat puut kaadettu ja puutavara viety pois niin, ettei se haittaa kaivua ja kannot lyhyitä; 2 = puut kaadettu, mutta ainespuuta ei viety pois tai kannot haitallisen pitkiä ja 3 = puut ojalinjalta kaatamatta.
6. Turpeen syvyys; dm: mitattiin suorassilla 10 havaintoa metrin välein ja näille laskettiin keskiarvo. Jos pisto osui puuhun ennen pohjamaata, otettiin vierestä uusi turpeen syvyyshavainto.
7. Kivisyys; kpl: montako kymmenestä ojasyvyydelle tai kiinteään pohjamaahan ulottuneesta suorassin pistosta osui kiveen.
8. Liekoisuus; kpl: montako em. kymmenestä pistosta osui turpeessa olevaan puuhun.
9. Vetisyys; kolme luokkaa: 1 = tasapinnalla ei saappaan jälkeen tule vettä; 2 = saappaan jälkeen tulee vähän vettä ja 3 = saappaan terä peittyy veteen.
10. Mättäisyys ja rimpisyys; kolme luokkaa sen perusteella, montako metriä paaluvälistä oli yli 20 cm korkeita mättäitä tai painanteita, joissa vesi seisoi ainakin suurimman osan kesää: 1 = alle 1 m:n matka mättäitä ja rimpiä; 2 = 1—5 m:n matka mättäitä ja rimpiä ja 3 = yli 5 m:n matka mättäitä ja rimpiä.
11. Upottavuus; kolme luokkaa turpeen syvyyden ja liikuttaessa tapahtuvan jalan uppoamisen perusteella: 1 = turvetta alle 6 dm tai sitä vahvempiturpeiset suot, joilla

jalka ei lainkaan uppoa; 2 = turvetta 6—10 dm tai enemmän ja jalka uppoaa selvästi, mutta syvälle uppoamisen vaaraa ei esiinny ja 3 = turvetta yli 10 dm ja liikuttaessa suo hyllyy tai muutoin on olemassa ilmeinen syvälle uppoamisen vaara.

Ojan kaivamisen jälkeen saman maastoluokituslomakkeen täyttöä jatkettiin merkitsemällä muistiin seuraavat tiedot:

12. Lapiokaivun vaikeusluokka; 10 luokkaa L u k k a l a — T i r k k o s e n (1939) mukaisesti.

13. Konekaivun vaikeusluokka; viisi luokkaa N i s k a s e n (1963 b) mukaisesti.

14. Ylitettävän ojan pintaleveys; dm.

15. Ylitettävän ojan syvyys; dm.

16. Turpeen laatu ja maatuneisuus: a) laatu; kolme luokkaa: 1 = rahkavaltainen turve; 2 = saravaltainen turve ja 3 = runsaasti puujätteitä sisältävä turve, b) maatuneisuus; kolme luokkaa: 1 = vähän maatunut turve (H 1—H 5); 2 = kohtalaisen maatunut turve (H 6—H 8) ja 3 = erittäin maatunut turve (H 9—H 10).

17. Liekoisuus; kpl: laskettiin, kuinka monta yli metrin pituista ja vähintään 10 cm:n paksuista turpeen sisällä ollutta puun kappaletta tuli näkyviin ojamaiden päälle.

18. Pohjamaan laatu; kahdeksan luokkaa: 1 = savi; 2 = hiesu; 3 = hieta; 4 = hiekka; 5 = sora; 6 = moreeni; 7 = kivikko ja 8 = mineraalimaata ei tule esille.

19. Kivisyys; dm: mitattiin paaluvälille sattuneen suurimman pois siirretyn tai kierretyn kiven keskiläpimitta.

20. Ojan pinnan leveys; dm: mitattiin normaalisti yhdestä paikasta, paaluvälin alusta. Jos kuitenkin tämä kohta oli selvästi poikkeuksellisen leveä tai kapea, mittaus suoritettiin silmävaraisesti valitulta, paaluvälin keskimääräistä leveyttä edustavalta kohdalta.

21. Ojan pohjan leveys; dm: mittauskohta valittiin samalla tavoin kuin edellisessä tapauksessa.

22. Ojan syvyys; dm: mittauskohta valittiin samoin perustein kuin kohdissa 20 ja 21, ja mittaus suoritettiin käyttäen apuna maan pinnan tasoon asetettua seivästä.

23. Ojamaiden reunan etäisyys; dm: mittaus aina paaluvälin alusta etäisyytenä ojan reunasta kohtaan, missä ojasta poistettua maata on 10 cm:n vahvuudelta. Jos maata oli poistettu molemmille puolille, merkittiin muistiin etäisyyksien keskiarvo.

24. Ojamaiden harjan etäisyys; dm: mittaus kuten edellä ojan reunasta ojamaavallin harjalle.

25. Ojan pohjan laatu; kolme luokkaa: 1 = pohja sileä eikä sinne tippunut kokkareita; 2 = hieman kokkareita ojan pohjalla ja 3 = pohja epätasainen ja runsaasti veden juoksua estäviä kokkareita ja kohoumia.

26. Ojan luiskan laatu; kolme luokkaa: 1 = moitteeton kouruluiska; 2 = epätasainen luiska ja 3 = erittäin epätasainen luiska.

Lisäksi huomautusriveille voitiin merkitä muistiin tärkeimpiä työmaiden erikoisolosuhteita ja tiettyä paaluväliä kuvaavia seikkoja.

Edellä esitetystä luettelosta voidaan havaita, että varsin suuri osa maasto- ja ojakohtaisista tiedoista oli luokiteltuja tekijöitä. Tämän vuoksi harjoitustyömaalla suoritettu perusteellinen luokitusharjoittelu ja mittausmenetelmien yhdenmukaistaminen olivat tarpeen, jotta molemmat ryhmät pääsisivät vertailukelpoisiin tuloksiin.

22. Tulosten laskeminen

Sisätöinä laskettiin ojan syvyyden sekä pinta- ja pohjaleveyden mittaustietojen perusteella ojan keskimääräinen poikkileikkauspinta-ala paaluväleittäin sekä tältä matkalta poistettu maamäärä. Tässä vaiheessa otettiin huomioon myös kouruluiskaisuuden aiheuttama pieni lisäys ojan poikkileikkaukseen ja poistettuun maamäärään.

Samoin laskettiin työmaittain kokonaisaika ja eri aikalajien osuus siitä. Jakamalla paaluvälin kaivamiseen ja tähän liittyviin siirtoihin kulunut aika vastaavalta matkalta poistetulla maamäärällä saatiin paaluväleittäin kuutiometrin kaivamiseen ja tähän liittyviin siirtoihin kulunut aika, mitä myöhemmin tietokonekäsittelyssä käytettiin selitettävänä muuttujana. Graafisesti tutkittiin, miten lapiokaivun ja konekaivun vaikeusluokat korreloivat em. kaivu- ja siirtoajan kanssa.

Eri kaivuvaikeustekijöiden vaikutusta kuutiometrin kaivamiseen ja tähän liittyviin siirtoihin kuluneeseen aikaan tarkasteltiin kovarianssianalyysillä. Valtion tietokonekeskuksella oli käytettävissään valmis ohjelma, joka pienten muutosten jälkeen sopi kyseiseen tarkasteluun. Ohjelma oli kuitenkin siksi suppea, että sillä voitiin laskea tarkka tulos käyttämällä vain verraten rajoitettua määrää selittävien muuttujien regressio- ja luokittelutekijöitä. Siksi kovarianssianalyysiin mukaan otettavien tekijöiden määrää jouduttiin vielä aineiston lävistysvaiheen jälkeen tuntuvasti supistamaan. Paljon vapausasteita vaativien luokittelutekijöiden pois karsiminen suoritettiin käyttäen hyväksi vuoden 1964 tuloksia ja sovellettavien regressiomallien selvittämiseksi tehtyjä, etupäässä graafisia tarkasteluja.

Tämän karsimisen jälkeen päädyttiin kaivu- ja siirtoaikojen summan vaihtelua tarkastelemaan seuraavien mitattujen vaikeustekijöiden avulla:

1. kiveen osuneet pistot; kpl,
2. suurimman kiven keskiläpimitta; dm,
3. turpeen syvyys; dm,
4. puihin osuneet pistot; kpl,
5. liekojen lukumäärä; kpl ja
6. ojan poikkileikkauksen pinta-ala, dm^2.

Tapauksissa 1—5 käytettiin muotoa $y = a + bx^2$ ja tapauksessa 6 muotoa $y = a + bx + cx^2$ olevia yhtälöitä.

Mitattujen vaikeus- eli regressiotekijöiden lisäksi otettiin analyysiin mukaan seuraavat kuusi luokiteltua tekijää:

1. kuljettaja; 15 kpl, joista kukin muodosti oman luokkansa,
2. pohjamaan laatu; 8 luokkaa,
3. ojalinjalla kasvanut puusto; 5 luokkaa,
4. ojalinjan raivaus; 3 luokkaa,

5. mättäisyys ja rimpisyys; 3 luokkaa ja
6. konekaivun vaikeusluokka; 5 luokkaa.

Tietokonekäsittelyn jälkeen taulukoitiin aluksi kukin regressiotekijä aineistossa esiintyvien mitattujen arvojen mukaan. Tämän jälkeen laskettiin kuutiometrin kaivamiseen kulunut aika helpoimmalle mahdolliselle maastotekijöiden yhdistelmälle sekä työnopeudeltaan keskitasoa edustavalle kuljettajalle ja tarkasteltiin, millaisen muutoksen kunkin maastotekijän vaikeutuminen tähän perusarvoon aihetti.

23. Aineiston laajuus

Kaikkiaan tutkittiin 12:n Ukko-Mestari- kaivulaitetta käyttävän kaivurin työskentelyä yhteensä 589 paaluväliä eli 5 890 m. Eräällä työmaalla työskenteli uusimpaan metsäojien konekaivukalustoon kuulunut saksalaisvalmisteinen hydraulinen keskiraskas kaivukone RH4, jonka työskentelyä seurattiin 25:llä paaluvälillä työmaan varsinaisen tutkittavan koneen rikkouduttua. Näin ollen koko tutkittu aineisto oli 6 140 m eli noin puolet vuoden 1964 aineistosta. Keskimääräinen ojan poikkileikkauspinta-ala välittömästi kaivun jälkeen oli molemmissa aineistoissa tarkalleen sama, 0.95 m^2. Näin kertyi ojista poistettua maata 5 816 m^3. Ojan poikkileikkauksen suurehkoon keskikokoon vaikutti osaltaan se, että eräällä työ-



Kuva 3 a. Suoteloilla varustettu kaivuri työssä. Työyksikön käyttötraktori on Nuffield 10/60 ja kaivulaite Ukko-Mestari 3 TL.
Fig. 3 a. Light excavator, equipped with tracks for moving on peat, at work. The tractor is a Nuffield 10/60 and the shovel, an Ukko-Mestari 3 TL.



Kuva 3 b. Saksalaisvalmisteinen keskiraskas hydraulinen kaivukone RH4 työssä.
Fog. 3 b. The medium-sized, hydraulic excavator RH4 at work. The machine is of German origin.

maalla jouduttiin seuraamaan 180 m:n matka poikkileikkaukseltaan 2.1—2.7 m^2:n suuruisen, tulevan tienvarsiojan kaivua.

Työmaita oli yhteensä 13 kpl, samoin kuin vuonna 1964 oli Porin metsänparannuspiirin alueella. Koska kuitenkin kahdella työmaalla kaksi kuljettajaa työskenteli vuorotellen samalla koneella, tutkimukseen tuli kaikkiaan 15 kuljettajaa, joten yhden kuljettajan työskentelyä seurattiin keskimäärin 41:n paaluvälin kaivamisen ajan. Tutkimuksen kohteina olleista 12:sta Ukko-Mestari- kaivulaitteesta 10 oli tyyppiä 3T ja kaksi silloin uutta 3TL-tyyppiä.

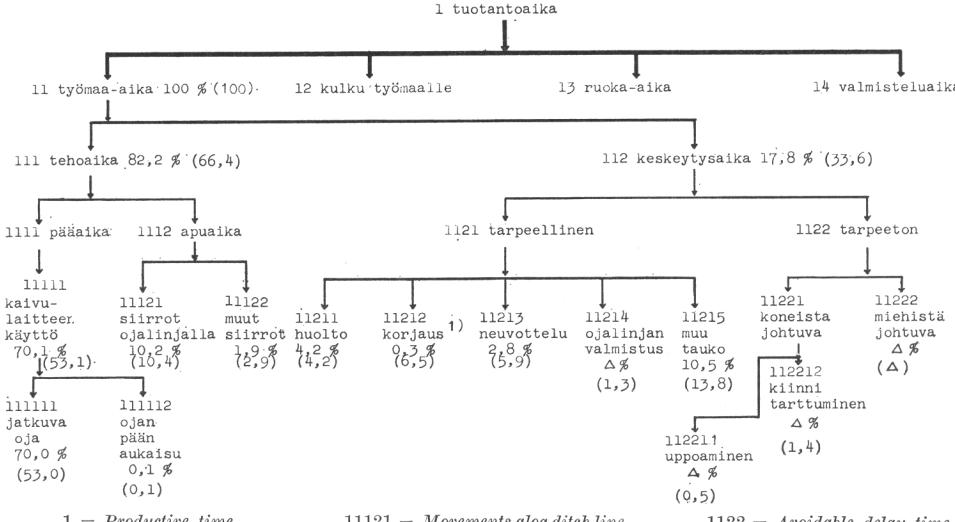
Käyttötraktoreista viisi oli Fiat 50 C- merkkisiä metsätraktoreita, joiden vakiovarusteisiin kuuluivat Alfta-telat. Yhdessä yksikössä käyttökoneena oli Valmetin maastotraktori Terra 860 varustettuna vähäisiä ohjausliikkeitä sallivilla täysteloilla. Lopuissa kuudessa tapauksessa oli käyttötraktorina Nuffield 4/60 tai 10/60 (taulukko 2 s. 26).

Teloja esiintyi tutkituilla Nuffield- Ukko- Mestari- yhdistelmillä kolmea eri pituutta. Neljässä tapauksessa traktorit oli varustettu etupyöristä takapyöriin ulottuvilla täysteloilla, jolloin koneen ohjaus tapahtui pääasiallisesti kaivulaitteella ns. häntäohjauksena. Näitä täystelaisia kaivureita voitiin vähän ohjailla myös jarruilla. Yhdessä tapauksessa käytettiin lyhyitä, etupyörien takana olevista lisäpyöristä takapyöriin ulottuvia ns. puoliteloja. Yhdellä kaivurilla oli taas erittäin pitkät, etupyörien edessä olevista lisäpyöristä takapyöriin ulottuvat erityiset suotelat.

3. TULOKSET

31. Työmaa-ajan jakaantuminen osa-aikoihin koko aineistossa

Varsinainen aikatutkimus suoritettiin Pohjoismaiden metsätyöntutkimusneuvoston (1963) hyväksymien aikatutkimusperiaatteiden mukaisesti. Eri aikalajeissa käytettiin samantapaista jakoa kuin vuoden 1964 tutkimuksessa ja yleensäkin metsätyötutkimuksissa. Työmaa-ajan jakaantuminen eri aikalajeihin on esitetty kaavamaisesti kuvassa 4. Siitä näkyvät myös sulkuihin merkittyinä kesällä 1963 kerätyn aineiston aikalajien prosenttiarvot.



1 = *Productive time*
11 = *Work place time*
111 = *Effective time*
1111 = *Main time*
11111 = *Actual digging time*
111111 = *Digging progressing ditch*
111112 = *Opening ditch ends*
1112 = *By-time*

11121 = *Movements alog ditch line*
11122 = *Other movements*
112 = *Delay time*
1121 = *Unavoidable delay time*
11211 = *Machine service*
11212 = *Repair* [1])
11213 = *Consultation*
11214 = *Clearing of ditch line*
11215 = *Other unavoidable delay*

1122 = *Avoidable delay time*
11221 = *Due to equipment*
112211 = *Foundering*
112212 = *Seizing*
11222 = *Due to personnel*
12 = *Transportation of equipment*
13 = *Lunch time*
14 = *Preparation time*

Kuva 4. Eritellyt aikalajit ja niiden osuus työmaa-ajasta. Suluissa olevat luvut esittävät vastaavia vuoden 1964 aineiston prosenttilukuja.

Fig. 4. The time classes used in the present study and their proportion of the work site time. The figures in parentheses are corresponding percentages for the material of 1964.

[1]) Seurattiin vain korkeintaan kolme tuntia kestänyt saman päivän aikana tapahtunut korjausaika. *Repair exceeding three hours has been disregarded in calculation of this figure.*

Tuotantoajasta tutkittiin varsinaisesti vain työmaa-aikaa. On kuitenkin huomattava, että kuljettajat eivät yleensä viettäneet varsinaista ruokatuntia, vaan tavallisesti muutaman kymmenen metrin kaivamisesta väsyttyään pitivät taukoa. Suuren osan tästä he käyttivät useimmiten eväittensä syömiseen ja tupakointiin. Alakohtaan muu tauko, joka muodostaa sekä vuoden 1964 aineistossa että kesällä 1967 kerätyssä aineistossa kaivulaitteen käytön jälkeen suurimman aikaryhmän, kuuluvatkin usein toistuneet lyhyehköt ruokailuhetket, mitkä samalla suurelta osin olivat lepotaukoja. Yksityiskohtaiset muun tauon käytöstä maastossa tehdyt huomautukset osoittavat, että yli puolet tästä, 10.5 % koko aineistosta olevasta aikalajista, käytettiin ruokailuun.

Erityistä valmisteluaikaa ei myöskään eroteltu. Työmaalle saavuttuaan kuljettaja kuitenkin aluksi huolsi konettaan ja tarkasteli päivän kuluessa kaivettavaksi suunnittelemaansa ojalinjaa. Samanlainen valmisteluun vivahtava huolto toistui yleensä työmaalta pois lähdettäessä.

Tarpeellisen ja tarpeettoman keskeytysajan raja etenkin miesten kohdalla on hyvin tulkinnanvarainen. Lepotauot ja niihin liittyvät pienet puuhailut vietiin kuitenkin lähes poikkeuksetta tarpeellisten keskeytysaikojen ryhmään. Näin molemmissa kaivutyöaineistoissa miehistä johtuvien tarpeettomien keskeytysten osuus jäi △ %:iin. Kiinni tarttumisen osuutta osoittava prosenttiluku sitä vastoin on pudonnut 1.4 %:sta △ %:iin, koska pitempiaikaisia kantojen päälle juuttumisia ei tapahtunut. Tämä johtunee pääasiassa käyttötraktoreiden maastokelpoisuuden paranemisesta.

Vaikkakaan varsinaisia työn keskeytystä aiheuttaneita uppoamisia ei tutkimustyömailla sattunut lainkaan, siirtoaika venyi upottavissa paikoissa usein keskimääräistä pitemmäksi. Kaivuri pääsi tällaisissa tapauksissa hieman painuttuaan kaivulaitetta apunaan käyttäen seuraavaan kaivuasemaan.

Kuljettaja ei myöskään itse sanottavasti suorittanut ojalinjan valmistusta, joten työvaiheen suhteellinen osuus on laskenut 1.3 %:sta △ %:iin. Sitä vastoin koneiden huoltotyön osuus on pysynyt täysin ennallaan, 4.2 %:na.

Korjauksen erittäin pieni osuus vuoden 1967 aineistossa aiheutuu sivulla 11 esitetyistä syistä. Sen suoritusta ei jääty seuraamaan kolmea tuntia pitemmäksi ajaksi, vaan ryhmä siirtyi varatyömaalle tutkimaan toisen kaivurin työskentelyä. Korjaukseen kuluva aika pyrittiin kuitenkin arvioimaan kuljettajalta etukäteen tiedustelemalla. Näin saatujen karkeiden arviolukujen mukaan korjaukseen käytetty aika nousi kaikkiaan n. 10 %:iin työmaa-ajasta. Kuitenkin on mainittava, että yli puolet korjauksista jouduttiin suorittamaan työmaan ulkopuolella, vaikka tilapäisratkaisuin korjauksia pyrittiin jättämään työmaalta toiselle tapahtuvien siirtymisten yhteyteen.

Näin saatu korjauksen kokonaisaika on huomattavasti suurempi kuin vuoden 1964 aineistossa keskimäärin. Tämä on ymmärrettävää, sillä

edellisestäkin aineistosta on poissa työmaan ulkopuolella tapahtuneiden lisäksi osa työmaalla tehdyistä pitkäaikaisista korjauksista. Myöhemmin on tehoaikaan pohjautuvassa kaivuvaikeusluokitustaulukossa 8 em. arviolukuun perustuen nostettu vaikeiden kaivumaastojen pistearvoja voimakkaan kulumis- ja rikkoutumistekijän vuoksi suuremmiksi kuin pelkkä aikatekijä edellyttäisi.

Työmaa-ajasta 10.2 % oli lyhyitä, pelkästään ojalinjalla tapahtuneita koneen siirtymisiä kaivuasemasta seuraavaan. Näiden osuus kokonaisajasta ei ole vuonna 1964 tulokseksi saadusta 10.4 %:sta sanottavastikaan pienentynyt. Keskimääräinen siirron pituus on hieman kohonnut vuoden 1964:n 1.74 m:stä 1.82 m:iin. Vaikka suuria eroja siirron keskimääräisessä pituudessa ei työmaittain esiintynytkään, siirtomatkat olivat hitailla kaivureilla kuitenkin keskimäärin hieman lyhyempiä kuin nopeilla.

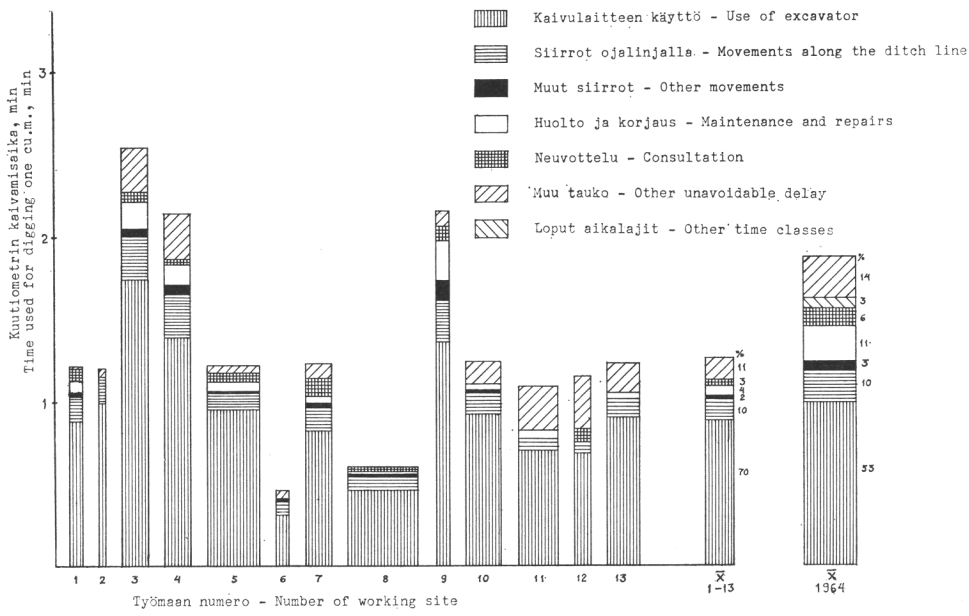
Ojalinjalla tapahtuneiden pitempien siirtojen ja siirtojen linjalta toiselle eli muiden siirtojen aikaosuus on kuitenkin edellisestä poiketen pienentynyt huomattavasti, 2.9 %:sta 1.9 %:iin. Samoin muiden kaivutyön keskeyttäneiden hukka-aikojen, kuten puittamisen, kantojen raivauksen, uppoamisen ja kiinni tarttumisen osuus on pienentynyt lähes olemattomiin.

Neuvotteluun laskettiin kuuluviksi kuljettajan keskustelut työnjohtajan, oman yrityksen johtajan, apumiehen ja muiden työmaalla kävijoiden kanssa, kartan lukeminen ja kaivettavaan ojalinjaan tutustuminen. Siksi työvaiheen eräissä osa-ajoissa onkin voimakkaasti vivahdusta aikaryhmään muu tauko. Neuvottelun osuus, 2.8 %, on vain vajaa puolet aikaisemman aineiston 5.9 %:sta.

Seurauksena lähes kautta linjan tapahtuneesta keskeytysaikojen pienenemisestä yhteensä 33.6 %:sta 17.8 %:iin on ollut tehoajan lisääntyminen 66.4 %:sta 82.2 %:iin. Tämä lisäys on tullut kokonaisuudessaan kaivulaitteen käytön osalle. Työvaiheen osuus on noussut 53.1 %:sta 70.1 %:iin. Kovarianssianalyysin selitettävänä muuttujana käytetyn kaivu- ja tähän välittömästi liittyvän siirtoajan summan keskimääräinen osuus on kohonnut 63.5 %:sta 80.3 %:iin. Yleishavaintona voidaan täten todeta, että tehollisen työn osuus on entisestään kohonnut melkoisesti, koska esimerkiksi korjauksista on molempina vuosina seurattu vain lyhytaikaisia.

32. Kuutiometrin kaivamiseen kulunut työmaa-aika osa-ajoittain ja keskimäärin

Kun työmaa-aika jaettiin ojasta poistetun maan määrällä, saatiin tulokseksi kuutiometrin kaivamiseen käytetty aika. Nämä työmaittaiset tulokset nähdään kuvasta 5, mihin on myös liitetty tämän ja vuoden 1964 aineiston keskiarvoja kuvaavat pylväät. Kaikkiin niihin on lisäksi eritellen merkitty tärkeimpien aikalajien prosenttiosuuksien mukaiset minuuttimäärät. Pyl-



Kuva 5. Kuutiometrin kaivamiseen kulunut työmaa-aika ja sen jakaantuminen osa-aikoihin työmaittain. Oikealla olevat $\overline{X}$-pylväät esittävät työmaiden 1—13 sekä vuoden 1964 aineiston keskiarvoja. Pylväiden leveydet ovat suoraan verrannollisia työmailla kaivettuihin maamääriin.
Fig. 5. The work site time consumed for digging one cubic metre and its distribution by partial times by work sites. The pillars marked with an $\overline{X}$ to the right present the averages of work sites 1—13 and of the material of 1964. The width of the pillars is proportional to the soil volumes removed.

vään leveys on suoraan verrannollinen työmaan kokoon eli kaivettuun maamäärään.

Kahdellatoista työmaalla tehtiin ojaa Ukko-Mestari- kaivulaitteella varustetulla kaivurilla, ja vain tavallaan aineistoon kuulumattomalla pienellä työmaalla n:o 6 työskenteli RH4- kaivukone. Nämä 12 työmaata eivät kuitenkaan olleet keskenään homogeenisia, sillä eroja oli sekä käyttötraktoreissa että työmaiden keskimääräisessä vaikeudessa. Kuitenkin on ilmeistä, että kuljettajan merkitys pylväiden pituuksien eroissa on ratkaiseva, vaikka kaikki aineiston kuljettajat oli valittu määrätyn työkokemuksen perusteella. Samanlaiseen tulokseen päädyttiin myös vuoden 1964 tutkimuksessa.

Molemmissa aineistoissa oli itse kaivulaitteen käyttöajoissa huomattavia eroja, koska nopeimmalta kuljettajalta kului kuutiometrin kaivamiseen vain noin kolmannes hitaimman kuljettajan käyttämästä ajasta. Siksi onkin merkittävää todeta, että kaivulaitteen käytön osuus työmaa-ajasta, 1.26 minuutista, on 70 % eli 0.88 min. Vuoden 1964 aineistossa vastaava työmaa-aika oli 1.87 minuuttia, josta kaivulaitteen käytön osuus oli 53 % eli melkein tasan yksi minuutti. Eroa on siis työmaa-ajassa 0.61 minuuttia, mutta varsinaisessa kaivulaitteen käytössä vain 0.12 minuuttia.

Vaikka kaivuun välittömästi liittyvien siirtojen prosenttiosuus on pysynyt samana eli 10 %:na, on siirtojen absoluuttinen määrä hieman vähentynyt, mikä saattaisi osoittaa myös koneiden maastokelpoisuuden vähän parantuneen.

Kuvista 4 ja 5 nähdään selvästi, että muiden siirtojen, huollon, neuvottelun, levon sekä muun työn määrissä ja prosenttiosuuksissa on tapahtunut selvää vähenemistä. Samoin on ilmeisesti laita myös korjauksen osuudessa, joskin tähän on suhtauduttava tietyin varauksin (vrt. sivu 18). Määrällisesti näiden muita siirtoja lukuun ottamatta tehoaikaan kuulumattomien tuottamattomien työvaiheiden summa on pienentynyt 0.68 minuutista alle puoleen eli 0.25 minuuttiin.

Tarkemmin kuin kuvasta 5 käy kuutiometrin kaivamiseen kulunut työmaa-aika ja sen tärkeimmät osa-ajat työmaittain ja keskimäärin sekä työmaiden koko

Taulukko 1. Kuutiometrin kaivamiseen kulunut työmaa-aika ja sen tärkeimmät osa-ajat työmaittain ja keskimäärin sekä työmaiden koko

Table 1. The work place time consumed for digging one cubic metre of ditch and its distribution by the most important partial times by work sites and on an average as well as the total volume dug on each work site of the study

Työmaa n:o *Work site no.*	Kaivulaitteen käyttö *Actual digging time*	Siirrot ojalinjalla *Movements along ditch line*	Muut siirrot *Other movements*	Korjaus + huolto *Repair + service*	Neuvottelu *Consultation*	Muu tauko + muut aikalajit *Other unavoidable delay + other time classes*	Työmaa-aika *Work site time*	Kaivettu maamäärä *Volume dug*
	Työvaiheeseen kulunut aika, min/m³ *Time consumed, min. per cu.m.*							m³ *cu.m.*
1	0.88	0.15	0.02	0.08	0.07	0.01	1.21	195
2	0.99	0.16	—	—	—	0.05	1.20	104
3	1.74	0.26	0.05	0.16	0.06	0.27	2.54	416
4	1.39	0.26	0.06	0.12	0.03	0.28	2.14	420
5	0.95	0.10	0.01	0.06	0.05	0.05	1.22	819
6 [1]	(0.31)	(0.08)	(0.02)	(—)	(—)	(0.05)	(0.46)	(193)
7	0.82	0.14	0.03	0.04	0.11	0.09	1.23	429
8	0.46	0.08	0.02	0.01	0.03	△	0.60	1 109
9	1.36	0.25	0.12	0.24	0.09	0.09	2.15	204
10	0.92	0.13	0.02	0.03	△	0.14	1.24	527
11	0.70	0.07	—	0.05	—	0.27	1.09	622
12	0.68	0.07	—	△	0.08	0.32	1.15	259
13	0.90	0.11	—	0.04	—	0.18	1.23	518
$\bar{x}$ [2]	0.88	0.13	0.02	0.06	0.04	0.13	1.26	469

[1]) RH4 kaivukone, joka ei ole mukana keskiarvossa. — *Excavator RH4, which is not included in the average.*

[2]) Laskettu kaivetulla maamäärällä painottaen. — *Weighted by the volume removed.*

Ojalinjalla tapahtuvien siirtojen osuus kokonaisajasta on lähes 10 % melkein kaikilla työmailla. Siksi työmaat, joilla kuutiometrin kaivamisen työmaa-aika oli suuri, vaativat myös siirtoihin ojalinjalla keskimääräistä enemmän aikaa. Osittain työmaiden pienehkön koon vuoksi esiintyy muissa aikalajeissa suuriakin työmaittaisia eroavuuksia.

Taulukossa 1 kaivulaitteen käytön ja siihen liittyvien siirtojen summa osoittaa koneen työtehoa yksikkönä min/m^3. Kun tämä lausutaan kääntäen, työtehoksi saadaan keskimäärin 59.6 m^3/h. RH4- kaivukone pääsi tuotokseen 156.3 m^3/h. Nopeimman kaivuriyksikön, Ukko-Mestari-Valmet Terra 860, tulos oli keskimäärin 111.9 m^3/h, ja hitaimman Ukko-Mestari-yksikön tuotos oli 30.0 m^3/h.

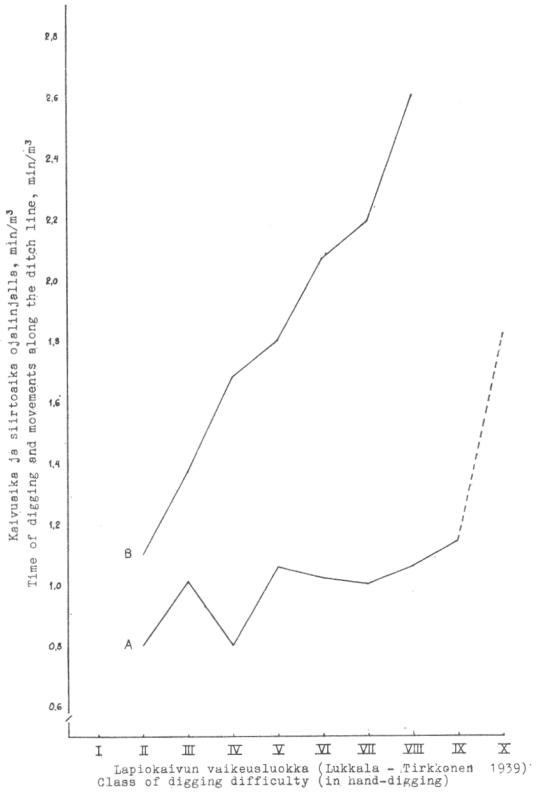
Erilaisen maastovaikeuden, kaivurin maastokelpoisuuden ja kuljettajan taidon lisäksi suureen tuotoksen vaihteluun vaikuttivat ilmeisesti myös tietyt psykologiset seikat. Yleensä työnantajat olivat informoineet koneiden kuljettajia tutkijoiden saapumisesta, ennen kuin itse ryhmät pääsivät työmaalle. Mahdollisesti tämän takia eräillä kuljettajilla tuntui olevan jonkinlaisia ennakkoluuloja työn tarkoituksesta. Siksi he pyrkivät tekemään erittäin hyvää ojaa ehkä hieman tavallista hitaammin. Myöskin eräät kuljettajat varoivat tarkasti, ettei kone olisi särkynyt tutkijoiden työtä keskeyttävästi. Osa kuljettajista taas pyrki näyttämään tutkimusta suorittavalle ryhmälle taitoaan ja intoutui siten ehkä keskimääräistä parempaan työsuoritukseen.

Nämä eri suuntiin vaikuttavat tekijät kumonnevat ainakin osittain toistensa vaikutuksen. On mahdotonta päätellä, aiheuttaako niiden summa keskiarvoissa poikkeamia siitä, mikä tulos olisi ollut ilman tutkijoiden paikalla oloa. Osittain tästäkin syystä päädyttiin myöhemmät maastovaikeustekijälaskennat suorittamaan aineiston keskiarvoa edustavaa kuljettajaa koskeviksi.

33. Maaston vaikeuden vaikutus eri kuljettajien työtulokseen

Jo kenttätöissä voitiin havaita, että esimerkiksi kivet ja ojan koko eivät aiheuttaneet eri kuljettajille samanlaista hankaluutta. Heikoilla työyksiköillä jo lieväkin kivisyys sai aikaan paaluvälin kaivuajassa huomattavaa pitenemistä ja parhailla taas vasta runsas kivisyys nosti kaivuaikaa.

Kun maastossa oli merkitty paaluväleittäin muistiin Lukkala—Tirkkonen (1939) esittämä lapiokaivun vaikeusluokka ja Niskasen (1963 b) konekaivun vaikeusluokka, voitiin tarkastella, miten kovarianssianalyysissä nopeimmiksi luokitelluilla ja näitä hitaammilla työyksiköillä kaivuvaikeusluokkien muuttuminen vaikutti maakuutiometrin kaivamiseen ja tähän liittyneisiin siirtoihin kuluneeseen aikaan. Lapiokaivuvaikeusluokkien osalta tulokset näkyvät kuvasta 6.

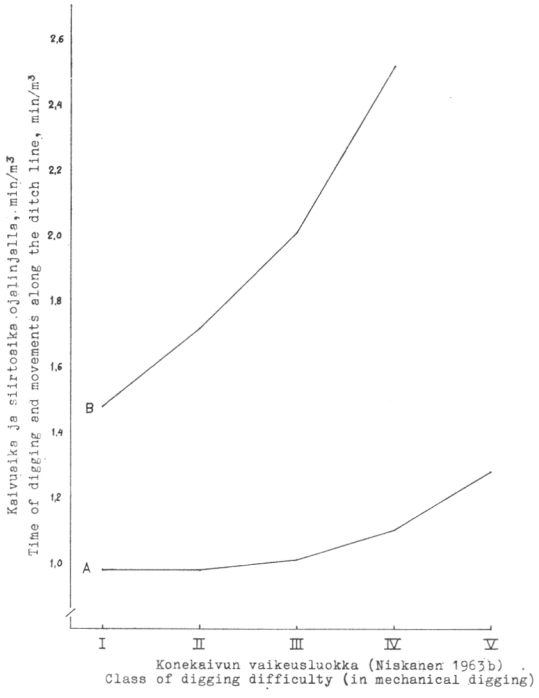


Kuva 6. Lapiokaivun vaikeusluokan vaikutus nopeiden (A) ja hitaiden (B) työyksiköiden työskentelynopeuteen.
Fig. 6. Influence of the difficulty class for hand digging on the working speed of fast (A) and slow (B) working units.

Tapauksen A murtoviiva yhdistää kolmen nopeimmaksi luokitellun, keskimääräiseltä poikkileikkaukseltaan alle 0.95 m^2:n suuruista ojaa kaivaneen Ukko-Mestari- yhdistelmän kaivuvaikeusluokittaiset keskiarvot. Vastaavasti murtoviiva B yhdistää näitä hitaampien, samankokoista ojaa kaivaneiden Ukko-Mestareiden kaivuvaikeusluokittaiset aikakeskiarvot.

Vaikeusluokkaan I tulleita havaintoja ei esiintynyt lainkaan, ja tehokkailla työyksiköillä oli kaivuvaikeusluokassa X vain muutama havainto, minkä vuoksi luokat IX ja X on yhdistetty katkoviivalla. B-tapaukseen ei tullut lainkaan kaivuvaikeusluokkia IX ja X.

Havaitaan, että A-tapauksessa siirryttäessä kaivuvaikeusluokasta II luokkaan VIII kaivu- ja siirtoaika nousee 0.8 minuutista vain n. 1.05 minuuttiin. B-tapauksessa vastaava aika muuttuu 1.5 minuutista peräti 2.6 minuuttiin. Tehokkailla yksiköillä vasta siirtyminen kaivuvaikeus-



Kuva 7. Konekaivun vaikeusluokan vaikutus nopeiden (A) ja hitaiden (B) työyksiköiden työskentelynopeuteen.

Fig. 7. Influence of the difficulty class for mechanical digging on the working speed of fast (A) and slow (B) working units.

luokasta IX luokan X vähälukuisiin havaintoihin aiheuttaa kaivuajassa voimakkaan nousun.

Edellisen kaltaiset, konekaivun vaikeusluokan vaikutusta kaivu- ja siirtoaikaan esittävät tulokset on esitetty kuvassa 7.

Kaivuvaikeusluokkaa V eli kivikoita ja louhikoita esiintyi perin niukasti, ja miltei kaikki havainnot menivät A-tapauksen osalle, joten B-tapaukseen ei voitu piirtää murtoviivaa luokkaan V saakka. Luokan harvinaisuus onkin luonnollista, sillä suunnitteluvaiheessa pyritään mahdollisuuksien mukaan välttämään kaivettavan ojan sijoittamista tällaisiin koneen kestävyyden kannalta kriittisiin paikkoihin.

Nyt ero nopeiden ja hitaiden työyksiköiden välillä on vielä selvempi kuin käytettäessä lapiokaivun vaikeusluokkia. Luonnollinen tulos on myös, että kaivu- ja siirtoajan riippuvuus konekaivun vaikeusluokasta on paljon selvempi kuin riippuvuus lapiokaivun vaikeusluokasta. Ihmeteltävän hyvin kuitenkin myös lapiokaivun vaikeusluokat pystyvät kuvaamaan keskinker-

taisten ja hitaiden työyksiköiden maastovaikeuden vaihteluiden mukaisesti muuttuvia tehollisia työaikoja.

B-ryhmän työyksiköillä kaivuvaikeusluokan muuttuminen I:stä IV:ksi nosti käytettyä työaikaa n. 1.5 minuutista n. 2.5 minuuttiin eli melkein tasan minuutilla. A-ryhmässä sitä vastoin vastaava muutos aiheutti ajan muuttumisen 0.98 minuutista 1.1 minuuttiin eli vain runsaan kahdeksasosan edellisen ryhmän muutoksesta. Vasta kaivuvaikeusluokan muuttuminen V:ksi nosti aikaa kaikkiaan n. 0.3 minuutilla.

Joudutaan siis toteamaan, että heikot työyksiköt pääsevät verraten lähelle tehokkaiden työyksiköiden ansiotasoa vain erittäin helpoissa maastoissa, mutta jäävät keskiansiossa paljon jälkeen, jos kaivu tapahtuu vaikeahkossa maastossa.

Toisaalta on kuitenkin otettava huomioon, että monet hitaat kuljettajat pyrkivät säästämään konetta kulumiselta ja rikkoutumiselta. Jotkut nopeat kuljettajat taas pyrkivät vain suureen päivittäiseen työtulokseen eivätkä tällöin erityisemmin säästelleet konettaan. Siten kulumisista ja rikkoutumisista aiheutuvien keskeytysten osuus saattaa nousta sangen suureksikin ja samalla kokonaisaikaa huomattavasti kohottavaksi. Suureen tuotokseen päässeiden kuljettajien ryhmässä oli kuitenkin myös sellaisia, jotka kehittyneellä tekniikallaan pystyivat kaivamaan nopeasti ja samalla konetta säästävästi vaikeissakin maastoissa.

34. Kaivu- ja siirtoaikoihin vaikuttavat tekijät

341. Kuljettaja ja koneyhdistelmä

Kuten tulosten laskentaa esittelevässä luvussa todettiin, sai kukin viidestätoista kuljettajasta kovarianssianalyysikäsittelyyn oman luokkanumeronsa. Näin ollen analyysi antoi jokaiselle oman + tai — merkkisen nopeusluokkansa, missä koneilla olleiden erilaisten keskimääräisten maastovaikeuksien ei pitäisi enää vaikuttaa luokka-arvoon. Näiden eri merkkisten arvojen summa on 0. Tämän lukuarvon saa nopeudeltaan keskimääräinen työyksikkö.

Saatuun luokka-arvoon vaikuttaa sekä koneen että sen kuljettajan työkyky. Siksi taulukossa 2, missä on esitetty saadut suhteellista nopeutta osoittavat arvot kuljettajittain, on myös nähtävissä käyttötraktori, sen telarakenne ja kaivulaitteen alatyyppi.

Kun jokin taulukon luokka lisätään vakion sekä muiden regressio- ja luokittelutekijöiden summaan, saadaan kaivu- ja siirtoaika tietyissä olosuhteissa juuri sille yhdistelmälle, jonka nopeusluokkaa on käytetty.

Tällöin on kuitenkin muistettava edellisessä luvussa tarkasteltu maaston vaikeutumisen erilainen vaikutus nopeisiin ja hitaisiin työyksiköihin. Siksi

Taulukko 2. Eri työyksiköiden saamat nopeusluokat. Kun jokin nopeusluokka lisätään muiden tekijöiden summaan, saadaan kyseiselle työyksikölle kuutiometrin kaivamiseen kulunut aika tietyissä olosuhteissa

Table 2. Speed classes of different working units. The time consumed for digging one cubic metre by a certain working unit can be obtained under certain conditions by adding the speed class to the sum of the other factors

Työyksikön n:o *Working unit no.*	Käyttötraktori *Tractor*			Ukko-Mestari-kaivu-laitteen tyyppi *Type of Ukko-Mestari shovel*	Työyksikön nopeusluokka *Speed class*
	Merkki *Model*	Tyyppi *Type*	Telan laatu *Tracks*		
1	RH4	—	metallitelat — *metal tracks*	—	—0.6521
2	Valmet	Terra 860	täystelat — *full tracks* [1])	3 TL	—0.5362
2	Nuffield	4 60	suotelat — *tracks for peaty terrain* [2])	3 T	—0.3275
4	Fiat	50 C	Alfta-telat — *Alfta tracks*	3 T	—0.3180
5	Nuffield	4 60	täystelat — *full tracks* [1])	3 T	—0.2815
6	Nuffield	4 60	täystelat — *full tracks* [1])	3 T	—0.2775
7	Fiat	50 C	Alfta-telat — *Alfta tracks*	TL	—0.0913
8	Fiat	50 C	Alfta-telat — *Alfta tracks*	3 T	—0.0727
9	Fiat	50 C	Alfta-telat — *Alfta tracks*	3 T	—0.0605
10	Nuffield	4 60	täystelat — *full tracks* [1])	3 T	+0.1210
11	Nuffield	4 60	puolitelat — *half tracks* [3])	3 T	+0.3384
12	Fiat	50 C	Alfta-telat — *Alfta tracks*	3 T	+0.3588
13	Nuffield	10 60	täystelat — *full tracks* [1])	3 T	+0.5097
14	Nuffield	10 60	täystelat — *full tracks* [1])	3 T	+0.5311
15	Fiat	50 C	Alfta-telat — *Alfta tracks*	3 T	+0.6371
$\bar{X}$					±0.0000

[1]) Telat ulottuvat etupyöristä takapyöriin. — *Tracks reach from front wheels to back wheels.*
[2]) Telat ulottuvat etupyörien edessä olevista pyöristä takapyöriin. — *Tracks reach from wheels in front of front wheels to back wheels.*
[3]) Telat ulottuvat etupyörien takana olevista välipyöristä takapyöriin. — *Tracks reach from wheels between front and back wheels to back wheels.*

joudutaan toteamaan, että kovarianssianalyysillä lasketuissa tuloksissa vaikeustekijöiden vaihtelun aiheuttamat aikamuutokset ovat oikeaa suuruusluokkaa vain työnopeuden keskiarvoa edustaville kuljettajille. Lasketut tulokset saattavat antaa helpoissa maastoissa taitavalle kuljettajalle hieman todellista pienemmän ja vaikeissa maastoissa taas todellista suuremman ajan. Vastaavasti hidas kuljettaja, jonka työskentelyyn maaston vaikeutumisella on suuri vaikutus, saa helpoissa maastoissa todellista suurempia ja vaikeissa maastoissa taas todellista pienempiä aikoja.

Etupäässä tästä syystä kaikki myöhemmät tulokset on laskettu lähinnä koko aineiston keskimääräistä työtehoa edustavalle »0-kuljettajalle». Koska aineistossa on mukana myös erittäin nopea RH4- työyksikkö, edustaa tämä kuljettaja kuitenkin hieman keskimääräistä nopeampaa Ukko-Mestari-yksikköä.

Kuutiometrin kaivamiseen ja siihen liittyviin siirtoihin kului aikaa keskimäärin 1.095 minuuttia. Eri kuljettajien välinen vaihtelu kohosi vielä

hieman tätäkin suuremmaksi. Kuljettaja osoittautuikin työtuloksiin vaikuttavista tekijöistä ylivoimaisesti tärkeimmäksi. Näin ollen kaksi samanlaisella työmaalla ja samalla yksikköpalkalla työskentelevää tottunuttakin kuljettajaa saattaa päätyä hyvin erilaisiin työtuntiansioihin.

Eri koneyksiköistä selvästi nopeimmiksi osoittautuivat kaksi hankintahinnaltaankin kalleinta yksikköä, nimittäin RH4-kaivukone (n:o 1) ja koneyhdistelmä Valmet Terra 860 — Ukko-Mestari 3TL (n:o 2). Sitä vastoin kahdesta muusta käyttötraktorista ja erilaisesta telarakenteesta mahdollisesti syntyneet erot peittyivät täysin kuljettajista aiheutuneisiin vaihteluihin.

342. Kivisyys

Maastotöissä kivisyys määritettiin turpeen syvyyden mittauksen yhteydessä kiveen osuneiden pistojen lukumääränä. Tämän lisäksi ojan kaivun jälkeen määritettiin suurimman ojasta poistetun tai kierretyn kiven keskiläpimitta. Suoritetussa analyysissä molempien tekijöiden vaikutus nousi erittäin merkitseväksi, sillä edellisessä tapauksessa F-arvo oli 28.0 ja jälkimmäisessä 15.9. Mainittakoon tässä vielä, että kuljettajatekijän F-arvo oli peräti 50.1.

Kiveen osuneet pistot saivat regressiokertoimekseen 0.005487. Kivien koon regressiokerroin taas oli 0.000513. Kun näillä kertoimilla kerrotaan pistojen lukumäärä ja kivien koko, päädytään määrätyn kivisyystekijäyhdistelmän työnopeuden keskiarvoa edustavalle kuljettajalle aiheuttamaan kaivu- ja siirtymisajan lisäykseen. Tämä on esitetty taulukossa 3.

Pahimmalla aineistosta löytyneellä kivisyysyhdistelmällä, 10 kiveen osunutta pistoa ja 25 dm, saadaan kaivuaikaan 0.87 minuutin suuruinen lisäys. Kivisyys onkin voimakkaimmin kaivu- ja siirtoaikaan vaikuttava maastotekijä.

On lisäksi huomattava, että kivisessä maastossa koneen kuluminen ja rikkoutuminen on keskimääräistä tuntuvasti pahempaa. Tällöin on kivisyystekijällä vielä taulukossa 3 esitettyä huomattavasti suurempi vaikutus käytettyyn työmaa-aikaan. Siksi onkin aikaisemman käytännön tavoin perusteltua nostaa kaivuvaikeusluokitustaulukoissa esitettävien korkeimpien kivisyysluokkien pistearvoja, jos kivisyyden lisääntymisestä aiheutuvaa suurta kulumis- ja rikkoutumistekijän kasvamista ei ole mittauksissa voitu ottaa huomioon.

343. Pohjamaan laatu

Maastossa erotettiin seuraavat pohjamaan tyypit lähinnä L u k k a l a — K o t i l a i s e n (1951) esittämää kivennäismaiden raesuuruuden mukaista luokitusta seuraten: savi, hiesu, hieta, hiekka, sora, moreeni ja kivikko.

Taulukko 3. Kivien lukumäärä ja koon kasvamisen aiheuttama muutos keskimääräisen työyksikön kuutiometrin kaivamiseen käyttämään aikaan. Pistohavaintojen ja läpimittahavaintojen keskinäinen sijainti taulukossa osoittaa kivien määrän ja koon välistä korrelaatiota

Table 3. The influence of the number and size of stones on the time consumed for digging one cubic metre of ditch by working units of average working speed. The situation of the figures for the stich observations and the stone diameter in relation to each other indicates the correlation between the stone quantity and stone diameter

Kiviin osuneita pistoja *Number of stitches that hit a stone*	Kaivuajan lisäys *Increase in actual digging time*	Suurimman kiven läpimitta *Diameter of biggest stone*	Kaivuajan lisäys *Increase in actual digging time*
kpl	min	dm	min
0	0.0000	0	0.0000
		1	0.0005
		2	0.0021
		3	0.0046
		4	0.0082
1	0.0055	5	0.0128
		6	0.0185
2	0.0219	7	0.0251
		8	0.0328
3	0.0494	9	0.0416
4	0.0878	10	0.0513
		11	0.0621
5	0.1372	12	0.0739
6	0.1975	13	0.0867
7	0.2689	14	0.1005
8	0.3512	15	0.1154
9	0.4444	16	0.1313
10	0.5487	17	0.1483
		18	0.1662
		19	0.1852
		20	0.2052
		21	0.2262
		22	0.2483
		23	0.2714
		24	0.2955
		25	0.3206

Tavallaan vielä kahdeksannen ryhmän muodostivat tapaukset, joissa turve oli niin syvää, että ojaa kaivettaessa ei pohjamaata tullut lainkaan esille. Analyysissä pohjamaatekijän ja turpeen syvyyden vaikutuksien riippuvuus toisistaan voitiin eliminoida, mikä antaa lisää luotettavuutta pohjamaan laadun merkitystä koskeviin tuloksiin. Havaitut erot ovat tilastollisestikin merkitseviä, sillä pohjamaatekijän F-arvoksi tuli 3.4. Eri mineraalimaalajien ja turpeen aiheuttama lisäys tai vähennys muiden tekijöiden perusteella laskettuun kaivuaikaan on esitetty taulukossa 4.

Syväturpeisuuden osalta tulos on samansuuntainen, mihin vuonna 1964 on päädytty. Turvetta hieman nopeampia kaivaa ovat sora ja hiekka, vaikka molemmat ovat huomattavasti sitä raskaampia. Tästä voidaan päätellä, että työskenneltäessä Ukko-Mestarin kaltaisella kaivulaitteella

Taulukko 4. Eri mineraalimaalajien ja syväturpeisuuden aiheuttama lisäys tai vähennys muiden tekijöiden perusteella laskettuun kuutiometrin kaivamiseen kuluneeseen aikaan

Table 4. Increase or decrease in the time consumed for digging one cubic metre caused by differences in the mineral soil or by the occurrence of a deep peat layer

Pohjamaa *Subsoil*		Kaivuajan lisäys tai vähennys *Increase or decrease in digging time*
Luokka *Class*	Laji *Kind*	min
1	Savi — *Clay*	— 0.1175
2	Hiesu — *Silt*	+ 0.0240
3	Hieta — *Fine sand*	+ 0.0006
4	Hiekka — *Sand*	— 0.1584
5	Sora — *Gravel*	— 0.2541
6	Moreeni — *Morain*	+ 0.0429
7	Kivikko — *Stones*	+ 0.5796
8	Turve — *Peat*	— 0.1172
$\bar{X}$ 1—8		± 0.0000

maalajin painolla on vain vähäinen merkitys muihin tekijöihin verrattuna. Siksi vuoden 1964 tutkimuksessa onkin todettu, että kaivettaessa yksinomaan turvemailla voitaisiin käyttää suurta kauhaa ja saavuttaa tällöin suurempi työteho kuin kivennäismailla.

Ylivoimaisesti hitain kaivettava on pohjamaa kivikko. Tällä tarkoitetaan louhikkoa, missä ei juuri nimeksikään esiinny hienompia maalajeja. Seuraavaksi korkeimman + merkkisen arvon saa aina tiiviiksi pakkautuneena esiintyvä moreeni. Molemmat pohjamaat ovat lisäksi melkoisesti koneita kuluttavia ja rikkovia. Näiden kovarianssianalyysin tuloksissa teoreettisesti kivettöminä esitettävien pohjamaiden kaivun hankaluutta nostaa paljon vielä se, että ne maastossa esiintyvät aina yhdistyneenä varsin korkeaan kivisyysasteeseen. Erittäin kivisten moreeni- ja kivikkomaiden ja esimerkiksi syvien turvemaiden kaivamisaikojen erotus saattaa nousta pohjamaatekijän huomioon ottamisen jälkeen jo jonkin verran yli minuutiksi eli samaan suuruusluokkaan kuin vuoden 1964 aineistossa kivisyysluokkien 0 ja 5 kaivuaikojen erotus.

Hienojakoisimpien mineraalimaiden, saven ja hiesun, kaivamisen hankaluuteen vaikuttaa paljon se, miten kuivuus on niitä kovettanut. Tutkimusaineiston melko vähälukuiset, märissä korpijuoteissa turpeen alla esiintyneet savikot olivat kovettumisasteeltaan erittäin edullisia kaivaa. Tätä suurempi märkyys tai kuivuus olisi saattanut nostaa kaivuaikaa melkoisesti. Yleisesti onkin todettava, että luonnontilaisilla soilla turpeen alla olevat savikkomaat eivät pitkinäkään poutakausina tule niin hankaliksi kaivaa kuin esimerkiksi peltojen savikot.

344. Ojan koko

Syvyyden sekä pinnan ja pohjan leveyden perusteella lasketut ojan poikkileikkauspinta-alat vaihtelivat kuivatusojiksi tarkoitetuissa ojissa heti kaivun jälkeen välillä 0.50—1.70 m^2. Tämän lisäksi aineistoon tuli mukaan 180 m poikkileikkaukseltaan 2.1—2.7 m^2:n tienvarsiojaa.

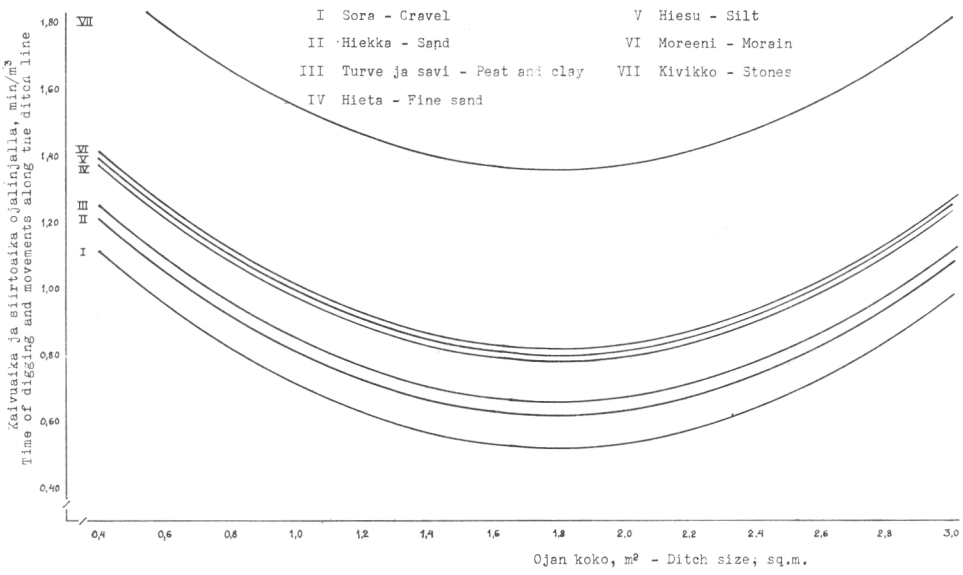
Kovarianssianalyysillä todettiin ojan koon yhtälön sekä ensimmäisen että toisen asteen tekijän selittävän merkitsevästi kaivu- ja siirtoaikojen muutoksia, sillä F-arvot olivat 20.3 ja 14.5. Ojan suuruuden vaikutusta kuvaava osa regressioyhtälöstä saa muodon $y = a - 0.011062\ x + 0.000031\ x^2$, jossa

y = kuutiometrin kaivamiseen ja tähän liittyviin siirtoihin kulunut aika, min,
a = vakio, johon kaikki muutkin kaivuvaikeustekijät vaikuttavat ja
x = ojan poikkileikkauspinta-ala, dm^2.

Taulukko 5. Ojan poikkileikkauspinta-alan poikkeamisen optimiojakoosta, 1.8 m^2:stä, aiheuttama lisäys kuutiometrin kaivamisaikaan

Table 5. The influence of deviation from optimum ditch size (1.8 sq.m.) on the time of digging one cubic metre

Ojan poikkileikkauspinta-ala *Cross section of ditch*	Lisäys kaivuaikaan *Increase in digging time*
m^2	min/m^3
0.4	0.5939
0.5	0.5112
0.6	0.4346
0.7	0.3643
0.8	0.3002
0.9	0.2423
1.0	0.1906
1.1	0.1450
1.2	0.1057
1.3	0.0726
1.4	0.0457
1.5	0.0250
1.6	0.0104
1.7	0.0021
1.8	0.0000
1.9	0.0041
2.0	0.0144
2.1	0.0308
2.2	0.0535
2.3	0.0824
2.4	0.1175
2.5	0.1588
2.6	0.2062
2.7	0.2599
2.8	0.3198
2.9	0.3859
3.0	0.4582



Kuva 8. Ojan koon vaikutus työskentelynopeuteen maalajeittain.
Fig. 8. Influence of the size of the ditch on the working speed in different soils.

Taulukossa 5 on esitetty ojan poikkileikkauspinta-alan mukaisesti taulukoituna ojan koon vaihteluiden aiheuttamat kaivuajan muutokset.

Samat lisäykset näkyvät myös kuvasta 8. Siinä esitetään ojakoon ja pohjamaan laadun vaikutus kaivu- ja siirtoaikaan muilta osin teoreettisesti helpoimmissa mahdollisissa olosuhteissa.

Havaitaan, että kahdeksan pohjamaatyyppiä muodostavat neljä kaivuhankaluuden ryhmää. Selvästi nopeimmat kaivu- ja siirtoajat saavutetaan soramailla työskenneltäessä. Tulos on soramaahavaintojen vähäisen lukumäärän vuoksi kuitenkin verraten epäluotettava. Seuraavaksi nopein ryhmä, johon kuuluvat saman arvoisina turve ja savi, sekä näitä kaivuajaltaan hieman edullisempi hiekka, on keskimäärin n. 0.15 minuuttia soraa hitaampi kaivaa. Tästä ryhmästä jälleen n. 0.15 minuutin päässä ovat hieta ja hiesu sekä näitä kaivuajaltaan hieman hitaampi moreeni. Tätä kolmatta ryhmää vielä n. 0.5 minuuttia hitaampaa on pohjamaa kivikon kaivu.

Kuutiometrin kaivaminen siihen liittyvine siirtoineen on Ukko-Mestari-yksiköllä nopeinta, kun ojan poikkileikkauspinta-ala on 1.8 m². Mainittakoon, että M a r k o l a (1966) on päätynyt lähinnä käytännön kokemusten perusteella samaan 1.5—2.0 m²:n nopeimman kaivuajan taitekohtakokoon, mihin myös vuonna 1964 näytetään keskimäärin päästävän eri kuljettaja-ryhmissä olevista eroista huolimatta.

Lähellä käännekohtaa ojan koon muuttuminen vaikuttaa aikaan paljon vähemmän kuin kaukana käännekohdasta tapahtuva samansuuruinen ojan koon muutos. Siksi tehtäessä ojia, joiden poikkileikkauspinta-ala esim. jää alle 1 m^2:n, on ojan koon muutoksilla jo huomattava vaikutus kuutiometrin kaivamiseen ja tähän liittyviin siirtoihin kuluneeseen aikaan.

345. Puuston määrä

Ojalinjalla esiintyneiden kantojen perusteella ojalinjan puusto jaettiin maastossa viiteen luokkaan. Kolmesta puustoa kuvanneesta tunnuksesta tämän luokituksen selitysvoima nousi kaikkein korkeimmaksi. Kuitenkaan F-arvo 2.47 ei riitä tekemään tulosta merkitseväksi, vaikkakin toisaalta tulokset näyttävät varsin helposti ymmärrettäviltä. Ojalinjalla olleen erilaisen kantoisuuden aiheuttama kaivu- ja siirtoajan muuttuminen on esitetty taulukossa 6.

Ojan kaivun havaitaan olevan nopeinta harvaa rämepuustoa kasvavalla suolla. Mahdollisesti erot painumisissa ovat syynä siihen, että aivan puuton suo saatiin analyysissä edellistä hieman hitaammaksi kaivaa. Tämän jälkeen kantojen määrän kasvaessa muuttuu kaivu- ja siirtoaika keskimäärin n. 0.05 minuuttia luokasta toiseen siirryttäessä. Aikaero luokan 2 ja luokan 5 välillä on yhteensä vain 0.17 minuuttia eli noin 15 % aineiston kaivu- ja siirtoaikojen keskiarvosta, 1.095 minuutista.

Vuoden 1964 aineistossa kantoisuusluokassa 0 kaivuaika oli 0.81 min/m^3 ja kantoisuusluokassa 4 vastaavasti 1.55 min/m^3. Tätä 0.74 minuutin eroa kohotti lähelle yhtä minuuttia kantoisuuden lisääntyessä siirtoajassa tapahtunut n. 0.2 minuutin nousu. Kantoisuuden aiheuttama aikaero vuoden 1964 aineistossa oli vuoden 1967 0.166 minuuttiin verrattuna runsaasti viisinkertainen. Tällöin ei kuitenkaan kuljettajalla ollut apunaan kantojen

Taulukko 6. Ojalinjalla olleen puuston aiheuttama lisäys tai vähennys muiden tekijöiden perusteella laskettuun kuutiometrin kaivamiseen kuluneeseen aikaan

Table 6. Increase or decrease in the time consumed for digging one cubic metre caused by trees grown on the ditch line

Luokka *Class*	Kantoisuus *Stubbiness*	Kaivuajan lisäys tai vähennys *Increase or decrease in digging time* min
1	Ei kantoja — *No stumps*	—0.0477
2	Harva rämepuusto, alle 30 m^3/ha — *Scattered pine-swamp stand, less than 30 cu.m. per ha*	—0.0766
3	Harvennusmetsä — *Pole-stage stand*	—0.0123
4	Tukkipuuta harvakseltaan — *Scattered sawtimber trees*	+0.0474
5	Tukkimetsä — *Sawtimber stand*	+0.0892
$\bar{X}$ 1—5		±0.0000

tasausta suorittavaa apumiestä, ja muutenkin ojalinjan raivaus on saattanut parantua tutkimusten välisinä vuosina. Voidaan kuitenkin todeta ojalinjalla olleen puuston muodostavan voimakkaalle kaivurille aikaisemmin mainittuihin tekijöihin verrattuna melko vähän kaivutyön vaatimaan aikaan vaikuttavan tekijän.

346. Muut tekijät

Puihin osuneet pistot ja liekojen lukumäärä:

Puustotekijän vaikutusta kaivuaikaan selvitettiin vielä tunnuksilla, jotka saatiin laskemalla, montako turpeen syvyyden mittaamiseksi tehdyistä suorassin pistoista osui maan sisällä olevaan puuhun ja toisaalta selvittämällä ojasta esiin tulleiden yli metrin pituisten ja yli 10 cm:n paksuisten liekojen lukumäärä. Edellisessä tapauksessa regressiokertoimen arvo oli —0.001441 ja F-arvo 1.09. Jälkimmäisessä tapauksessa taas regressiokerroin oli +0.001072 ja F-arvo 0.95. Koska normaalisti paaluvälillä liekojen lukumäärä oli selvästi suurempi kuin liekoihin osuneiden pistojen määrä, on näiden eri suuntaan vaikuttavien, samaa ominaisuutta selvittävien tekijöiden aiheuttamien aikamuutosten summa positiivinen. Kaivuaika siis hieman kasvaa liekojen määrän noustessa. Liekoisuus vaikuttaa työtulokseen kuitenkin paljon vähemmän kuin ojalinjalla ollut puusto. Liekoisuuden merkitys kaivuvaikeustekijänä on siten lähes olematon, ja se voidaan käytännössä yleensä yhdistää ojalinjan puustotekijään.

Turpeen syvyys:

Turpeen syvyyden regressiokertoimen arvoksi tuli vain —0.000041 ja F-arvoksi 0.02. Tilastollisesti täysin merkityksetön negatiivinen riippuvuus on käytännöllisesti katsoen 0:n suuruusluokkaa, eli siis turpeen syvyys on ainoastaan välillisesti kaivu- ja siirtoaikoihin vaikuttava tekijä. On kuitenkin huomattava, että turpeen syvyyden ja kivisyyden välillä vallitsee usein voimakas negatiivinen korrelaatio. Riittävän syväturpeisilla soilla ei kaivusyvyydellä voi lainkaan esiintyä kivisyyttä, kun taas ohutturpeiset suot ovat usein kivisiä. Siksi esimerkiksi urakoitsija kiinnittää urakkatarjousta valmistellessaan melkoisesti huomiota suoalueen keskimääräiseen turpeen syvyyteen.

Mättäisyys ja rimpisyys:

Maastossa erotettiin kolme luokkaa korkeiden mättäiden tai rimpikohtien pituuden perusteella. Suurin, 2. ja 3. luokan välinen ero oli vain 0.013 minuuttia ja F-arvo 0.07. Kuitenkin tietyissä lähteisissä tai rimpisissä veden seisontapaikoissa saattaa olla erittäin suurikin uppoamisvaara. Jos tällainen uppoaminen sitten tapahtuu, työmaa-aika nousee aina varsin suureksi. Lisäksi on huomattava, että tutkimusalueella ei esiintynyt lain-

kaan esimerkiksi Perä-Pohjolan aapasuoalueille tyypillisiä pahoja rimpikohtia.

Ojalinjan raivaus:

Ojalinjan raivauksen perusteella tekijä jaettiin kolmeen luokkaan. Aikaerot olivat kuitenkin mitättömän pieniä, ja tulos oli vailla merkitystä, sillä F-arvoksi tuli vain 0.48. Kuitenkin voitiin työmaalla, jonka ojalinja oli lähes kokonaan erittäin huonosti raivattu tai jopa aivan raivaamaton, havaita selvästi, miten pitkiksi jääneet kannot usein rikkoivat öljy- ja vesiputkia sekä -letkuja aiheuttaen korjausajan osuuden kohoamisen erittäin suureksi. Seurauksena oli myöskin muutamia aivan lyhytaikaisia kiinni tarttumisia.

Konekaivun vaikeusluokka:

Konekaivun vaikeusluokka otettiin mukaan vahvistamaan tai heikentämään muiden regressio- ja luokittelutekijöiden vaikutusta. Nämä selittivät kuitenkin kaivuhankaluutta jo siksi hyvin, että konekaivun vaikeusluokka ei saanut tilastollista merkitsevyyttä.

Yhteensä 12:n luvussa 34 esitellyn regressio- ja luokittelutekijän lisäksi analyysiin ei mahtunut enää useampia selittäviä tekijöitä. Analyysiä varten suoritetuissa tarkasteluissa voitiin kuitenkin niiden vaikutuksen itse kaivu- ja siirtoaikaan todeta olevan hyvin vähäisen ja nähtävästi vielä pienemmän kuin esimerkiksi mättäisyyden ja rimpisyyden tai ojalinjan raivauksen vaikutuksen.

4. METSÄOJIEN KAIVUVAIKEUSLUOKITUS

41. Metsäojien kaivun hinnoittelun tausta ja nykyinen tilanne

Kun metsäojia kaivettiin lapiotyönä, vaikuttivat lapiomiehen ansioon ratkaisevasti kaivettavan maaperän pienetkin kaivuvaikeuden erot. Työvaikeuden oikeudenmukainen arviointi oli tällöin erittäin tärkeää ja edellytti tarkkaa paaluväleittäin tapahtuvaa kaivuvaikeuden luokitusta. Metsäojien lapiokaivutyön kaivuvaikeusluokittelulla ja hinnoittelulla onkin maassamme vanhat perinteet aina T a n t u n (1911) ja L u k k a l a n (1928) laatimista ensimmäisistä taulukoista lähtien. Vankka perusta myöhemmille yksityiskohtaisille ja tarkoille hinnoitustaulukoille saatiin L u k k a l a n (1939) laajoista, kaksi maastotyökautta kestäneistä metsäojien kaivun työaikatutkimuksista, joiden perusteella julkaistiin siitä alkaen yleisesti käytössä olleet »Metsäojien hinnoitustaulut» (L u k k a l a — T i r k k o n e n 1939). Myöskin metsäojien räjäytystyön kustannuksia eri lapiokaivuvaikeusluokkiin kuuluvissa maastoissa on pyritty hinnoittelemaan (H u i k a r i 1953).

Metsäojituksen koneellistuminen ja sen seurauksena tapahtunut vuosittain tehdyn ojamäärän kasvu ovat kuitenkin muuttaneet lapiokaivun aikakautena vallinneen tilanteen. Kaivuvaikeusluokituksen ja ojien suunnittelun on ollut pakko muuttua entistä suurpiirteisemmiksi myös siksi, että ojitusta toteuttavien organisaatioiden ojitustyön määrä toimihenkilöä kohti on kasvanut tapahtuneen kehityksen myötä.

Ojitustyön toteutus tapahtuukin nykyään yleensä urakkakilpailun perusteella muodostunein yksikköhinnoin. Metsänparannusvaroin tehtävistä ja valtion toteutettaviksi tarkoitetuista töistä on annettu tarkat ohjeet töiden urakoinnissa noudatettavasta menettelystä. Urakan antajan tekemällä hinnoituksella on ollut lähinnä vain se merkitys, että kustannusarvio on ollut riittävän suuri urakoitsijan myöhemmin tekemän työtarjouksen edellyttämän hinnan maksamiseen. Hinnoittelun voimakkaan yksinkertaistamisen on katsottu vähentävän suunnittelukustannuksia ja toisaalta helpottavan vähäisen toimihenkilömäärän ankaraa työpainetta.

Laajoilla alueilla käytetyt yhtenäiset kaivuhinnat saattavat kuitenkin työnantajalle tarjoamistaan pienistä eduista huolimatta olla sekä yhteishankkeen eri maanomistajien että erityisesti yksityisen kaivuriyrittäjän kannalta

usein erittäin epäoikeudenmukaisia. Kustannusarvion pitäisi pystyä myös mahdollisimman tarkasti ilmentämään lopullisia kaivukustannuksia, jotta hankkeita hyväksyttäessä ei syntyisi tarpeetonta rahojen ylivarausta.

Näiden syiden vuoksi käyttökelpoisen hintaluokituksen puutteen poistamiseen on tunnettu tarvetta myös työnantajapiireissä. Tästä ovat osoituksena mm. lähinnä lapiokaivun vaikeusluokitukseen ja käytännön kentällä tehtyihin työtehohavaintoihin perustuvat hinnoitteluehdotukset (Niskanen 1963 b, Markola 1966), joita ei kuitenkaan ole tiettävästi laajemmalti käytetty.

Tässä yhteydessä on mainittava myös Nummisen metsäojien aurausta käsittelevät julkaisut (Numminen 1959, 1960, 1961 ja 1963). Eräs niiden tärkeimmistä tavoitteista on ollut selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat metsäojien aurauksen työtehoon ja miten tältä pohjalta auraustyön kaivuvaikeusluokitus ja hinnoittelu olisi suoritettava.

Vuoden 1964 tutkimuksen tavoitteen mukaisesti laadittiin sen pohjalta pistelaskujärjestelmään perustuva kaivuvaikeuden luokittelumenetelmä. Pistearvojen eroihin perustuvassa luokitusehdotuksessa otettiin huomioon vaikeustekijöinä kivisyys, kantoisuus ja ojan koko sekä aikamenekkinä että kulumistekijänä. Kukin vaikeustekijä jaettiin viiteen luokkaan, jolloin niiden määrittely käytännössä oli yksinkertaista, mutta tarjosi toisaalta mahdollisuuden päästä useiden vaihtoehtojen kautta oikeudenmukaiseen lopputulokseen. Pisteiden summana laskettu kaivuvaikeuden arvo ilmoitti tällöin yhteismitallisesti tutkitun hankkeen tai sen osan ominaisuudet. Tätäkään luokitusta ei ole käytännössä toteutettu.

42. Pisteinä ilmaistuihin tehoajan eroihin perustuva kaivuvaikeusluokitus

421. Luokituksen laadinnassa vaikuttaneet näkökohdat

Molempien edellä esiteltyjen, kesällä 1963 ja 1967 suoritettujen aikatutkimusten päätavoitteena oli saada kerätyksi luotettava kaivuvaikeusluokituksen laadinnassa tarpeellinen aikatutkimusaineisto. Näiden tutkimusaineistojen tulosten perusteella tehtiin periaatteellisista ja käytännöllisistä näkökohdista asiantuntijoiden kanssa neuvotellen uusi nelisivuiseksi yksityiskohtaiseksi muistioksi tiivistetty, kenttäkäyttöön tarkoitettu ehdotus metsäojien kaivuvaikeusluokitukseksi ja taksaohjeen mallikappaleeksi. Tämä esitetään luvussa 422.

Ohjeen laadinnassa huomioon otetut yleiset periaatteet olivat: Kaivuvaikeusluokituksessa pitäisi päästä sellaiseen tarkkuuteen, että yrittäjä lapiomiehen tavoin saisi yhtä suuren ansion kaivuolosuhteista riippumatta. Toinen, edellisen kohdan kanssa jossain määrin ristiriidassa oleva, ojien massakaivun aikakaudella tärkeä perusnäkökohta on, että luokitus ei saisi olla

liian monimutkainen ja suuritöinen käyttäjälleen. Se pitäisi pienenä osatyönä saada yhdistetyksi muihin suunnittelu- tai kaivutyön vaiheisiin. Kolmas ja ehkä vaikein tehtävä, mitä ei kuitenkaan pitäisi tuoda sekoittamaan kahta edellistä kohtaa, on kaivuvaikeusluokituksen niveltäminen keskimääräiseen tavoitetuntiansioon mahdollisimman oikeudenmukaisesti.

Näistä syistä ohjetta laadittaessa päädyttiin siihen, että paras kaivuvaikeuden luokitusperuste on tehoajan eroihin perustuva pistejärjestelmä. Tehoajalla tarkoitetaan tässä luvussa aikaisemmasta ryhmityksestä (kuva 4) hiukan poiketen kaivulaitteen käyttö- ja ojalinjalla tapahtuneiden siirtoaikojen summaa. Yksinkertaistuksena on muiden siirtojen maastovaikeudesta riippumaton pieni aikaryhmä jätetty pois. Pistejärjestelmä esitetään alustavasti varsin yksityiskohtaisena taulukossa 8, missä teoreettisen minimiajan eli perusajan lisäksi pistearvoja annetaan kivisyydelle, puisuudelle, pohjamaalle ja ojan koolle taulukossa esitetyin perustein.

Taulukossa esiintyvien pisteiden tarkoitus on yksinkertaistaa kaivuvaikeuden selvittämiseksi tarpeellista viiden tekijän yhteenlaskutoimitusta. Kun pisteelle annettiin arvoksi 0.06 min/m^3, saatiin teoreettisesti helpoimmissa mahdollisissa olosuhteissa optimikokoisen ojan ja työnopeudeltaan keskiarvoa edustavan kuljettajan ollessa kysymyksessä analyysiyhtälöstä pienimmälle mahdolliselle kaivu- ja siirtoajalle eli perusajalle, 0.6 min/m^3:lle, pistearvo 10. Taulukoiduissa maaperästä aiheutuvissa ojakohtaisissa vaikeustekijöissä on tutkimuksen kohteena olleen aikatekijän lisäksi otettu huomioon jonkin verran kulumistekijän erilaisuutta helpoissa ja vaikeissa kaivumaastoissa. Työmaakohtaisten ja sääsuhteiden mukaan muuttuvien vaikeustekijöiden kuten huoltoyhteyksien, ojalinjan raivauksen, upottavuuden ja roudan osalta ei sitä vastoin ole katsottu aiheelliseksi suorittaa taulukointia, vaan niiden huomioon ottamista ja laatuvaatimuksia on selvitetty määrittein muistion lopussa.

Luokituksen aiheuttaman lisätyön vuoksi katsottiin kohtuuttomaksi vaatia, että pitkistä ojaryhmistä tai hankkeista kaivuvaikeus luokiteltaisiin jokaiselta paaluväliltä. Tiettyyn systemaattiseen otantaan perustuvaa näytettä pidettiin riittävänä. Koska oikean kuvan antava luokitustiheys riippuu luokitusalueen koosta ja vaadittavasta tarkkuudesta, sopivaksi katsottu otantatiheys on esitetty taulukossa 7. Tutkittavat puoli- tai kokopaaluvälit on otettava ojien kirjaintunnusten tai numeroinnin mukaisessa järjestyksessä edeten. Suuret valtaojat on kuitenkin luokiteltava tarkasti omana ryhmänään.

Neuvotteluin tai jollain muulla tavoin on päätettävä, mikä on sopiva tavoiteansio tehoajalle. Taulukossa 9 esitetään mallina päätöksen jälkeisestä käytännöstä 30 mk:n tehoaikaiseen tavoiteansioon perustuvat pistearvottaiset kaivutulokset ja yksikköhinnat. Tavoiteansion päättämisen jälkeen on varsin helppo tehtävä laatia esimerkin mukaiset uudet pisteluokittaiset hinnoitustaulukot.

Taulukko 7. Kaivuvaikeuden määritystä varten luokiteltavat puoli- tai kokopaaluvälit
Table 7. Half or total chain lengths (40 or 50 m. each) to be classified for determination of digging difficulty

Ojan tai ojaryhmän pituus *Length of ditch or ditch net* m	Puolipaaluväleistä luokitellaan *Half chain lengths to be classified*	Ojaryhmän tai hankkeen pituus *Length of ditch net* km	Kokonaispaaluväleistä luokitellaan *Chain lengths to be classified*
<100	Kaikki *All*	1.6— 3.5	Joka — *Every* 2.
		3.6— 5.5	» » 3.
120— 200	Joka — *Every* 2.	5.6— 7.5	» » 4.
220— 400	» » 3.	7.6— 9.5	» » 5.
420— 800	» » 4.	9.6—13.5	» » 6.
820— 1 600	» » 5.	13.6—17.5	» » 7.
1 620— 3 500	» » 6.	17.6—21.5	» » 8.
3 520— 5 500	» » 7.	21.6—26.5	» » 9.
5 520— 7 500	» » 8.	26.6—35.0	» » 10.
7 520— 9 500	» » 10.	35.1—50.0	» » 12.
		50.1—63.0	» » 14.
		63.1—77.0	» » 16.
		77.1—92.0	» » 18.
		92.1—	» » 20.

422. Metsäojien kaivurityön kaivuvaikeusluokitus- ja taksaohjeet

L u o k i t u s t a p a: Työmaan koosta riippuen määritetään kaivuvaikeus niin monennelta puoli- tai kokopaaluväliltä säännöllisesti kuin taulukko 7 osoittaa, jotta saataisiin urakoinnin kannalta riittävä näyte kaivuvaikeuden keskiarvon selvittämiseksi. Tutkittavat puoli- tai kokopaaluvälit otetaan ojien kirjaintunnusten tai numeroinnin mukaisessa järjestyksessä edeten. Valtaojat luokitetaan koko pituudeltaan.

L u o k i t u s p e r u s t e e t: Ojalinjalta tutkitaan maastossa seuraavat luokituksen perustekijät:

K i v i s y y s määritetään teräksisellä suorassilla kymmenellä tasavälein suoritetulla rassauksella pistämällä kaivusyvyyteen tai kivennäismaahan saakka ja laskemalla, montako kertaa näistä kymmenestä pistosta rassi on osunut kiveen.

P u i s u u s määritetään ojalinjalta koneen kulkuleveydeltä silmävaraisesti jakaen viiteen luokkaan seuraavasti:

1. Ei puustoa eikä kantoja
2. Harva räme- tai korpipuusto (alle 30 m^3/ha) tai sen kantoja
3. Harvennusmetsä, jossa ei ole tukkipuun mittoja (läpimitta yli 17 cm 1.3 m:n korkeudelta) täyttäviä puita tai niiden kantoja
4. Harvakseltaan tukkipuita tai tukkipuiden kantoja
5. Järeä tukkimetsä tai suuria tukkipuiden kantoja paaluvälillä keskimäärin enintään 4 m:n välein.

M a a l a j i tunnistetaan suorassilla pistämällä kaivettavaan ojasyvyyteen tai kivennäismaahan. Mineraalimaalle annetaan määräävä asema, mikäli

Taulukko 8. Kivisyyden, puisuuden tai sitä vastaavan kantoisuuden, pohjamaan ja ojan koon suhteellinen vaikutus kuutiometrin kaivamisen kaivu- ja siirtoaikaan, kun kaivutyön suorittaa ammattitaitoinen kuljettaja vuonna 1967 yleisimmin käytössä olleilla metsäojakaivureilla. 1 piste on 0.06 min/m³

Table 8. The relative influence of stoniness, occurrence of trees, or correspondingly, stumps, subsoil, and ditch size on the actual digging time and the time for movement along the ditch line in digging one cubic metre of ditch when work is done by skilled drivers with the light excavators most commonly used in 1967. One point equals 0.06 min. per cu.m.

Perusajan = A pistearvo *Score value of basic time (A)*	Kivisyys = B *Stoniness = B*		Puisuus = C *Stubbiness = C*		Pohjamaa = D *Subsoil = D*		Ojan koko = E *Ditch size = E*	
	Määrittely: 10 pistosta osunut kiveen, kpl *Definition: Number of stitches of ten that have hit a stone*	Pistearvo *Score value*	Määrittely *Definition*	Pistearvo *Score value*	Määrittely *Definition*	Pistearvo *Score value*	Poikki leikk. pinta-ala, m² *Cross-Section area, sq.m.*	Pistearvo *Score value*
	0	0	1. Avosuo —		Turve — *Peat*	0		
	0	0	*Treeless*	0.5	Sora — *Gravel*	0.5	0.4	10
	2	1	2. Puusto alle 30				0.5	8.5
			m³/ha — *Tree*		Hiekka — *Sand*	0.5	0.6	7
			stand less than				0.7	6
			30 cu.m. per ha.	0			0.8	5
	3	2	3. Harvennus-				0.9	4
			metsä — *Pole-*				1.0	3
10	4	3	*stage stand*	1	Märkä savi —			
	5	4	4. Tukkipuita		*Wet clay*	0.5	1.1	2.5
			harvakseltaan		Hieta — *Fine sand*	2.5	1.2	2
			Scattered saw-				1.3	1
			timber trees	2	Hiesu — *Silt*	3.0	1.4	1
	6	5	5. Tukkipuita		Kuiva savi — *Dry*	3.5	1.5	0
			runsaasti —		*clay*			
			Abundant saw-		Moreeni —	4.0	1.6	0
			timber trees	3	*Moraine*			
					(Kivikko) —			
	7	7			*(Abundant stones)*	(12)	1.8	0
	8	9					2.0	0
							2.2	1
							2.4	2
	9	11					2.6	3.5
							2.8	5.5
	10	13					3.0	7.5

Kaivuvaikeuden pistearvo X = A + B + C + D + E
Score value of digging difficulty, X = A + B + C + D + E

sitä on yli 20 % kaivusyvyydestä. Maalajeista tunnistetaan turve, savi, hiesu, hieta, hiekka, sora, moreeni ja kivikko.

O j a n k o k o määritetään poikkileikkauspinta-alana suunnitelma-asiakirjoista puoli- tai kokopaaluvälien keskiarvona.

K a i v u v a i k e u d e n p i s t e a r v o määritetään taulukosta 8 saatavien osapistearvojen avulla siten, että perusarvoon 10 pistettä (A) lisätään

Taulukko 9. Kaivutulokset ja yksikköhinnat eri pistearvoilla, kun 1 piste on 0.06 min ja tavoiteansio tehoajalta on 30 mk/tunti
Table 9. The digging output and unit prices corresponding to different score values when one point equals 0.06 minutes and an hourly cost of Fmk. 30,— is aimed at with regard to the effective time

Pistearvo *Score value*	Kaivutulos m³/t *Digging output, cu.m. per hour*	Yksikköhinta mk/m³ *Unit price, Fmk per cu.m.*	Pistearvo *Score value*	Kaivutulos m³/t *Digging output, cu.m. per hour*	Yksikköhinta mk/m³ *Unit price, Fmk per cu.m.*
10	100	0.30	26	39	0.78
11	91	0.33	27	37	0.81
12	83	0.36	28	36	0.84
13	77	0.39	29	35	0.87
14	71	0.42	30	33	0.90
15	67	0.45	31	32	0.93
16	63	0.48	32	31	0.96
17	59	0.51	33	30	0.99
18	56	0.54	34	29	1.02
19	53	0.57	35	29	1.05
20	50	0.60	36	28	1.08
21	48	0.63	37	27	1.11
22	46	0.66	38	26	1.14
23	44	0.69	39	26	1.17
24	42	0.72	40	25	1.20
25	40	0.75	—	—	—

kivisyysluokkaa vastaava pistearvo (B), näin saatuun summaan puisuusluokkaa vastaava pistearvo (C), näin saatuun summaan pohjamaalajiluokkaa vastaava pistearvo (D) sekä näin saatuun summaan ojan kokoluokkaa vastaava pistearvo (E). Summaksi saatu paaluvälin kaivuvaikeutta kuvaava pistearvo (X) on käytännön työmailla välillä 10—40.

Saatujen kaivuvaikeuden pistearvojen keskiarvo ojaa, ojastoa tai työmaata kohti, esim. 30 pistettä, merkitsee sitä, että ammattitaitoiselta kuljettajalta kuluu työmaalla sulan maan aikana yhden kuutiometrin kaivamiseen ja siihen liittyviin siirtoihin aikaa 30 kertaa 0.06 minuuttia eli 1.8 minuuttia käytettäessä tutkimusajankohtana metsäojitustyömailla yleisiä keskiraskaita ja raskaita kaivureita.

Taulukossa 9 on esitetty eri pistearvoja vastaavat työsaavutukset ja kuutiometrin kaivuhinnat, kun ansiotavoitteena tehoajalle on 30 mk/tunti.

Työmaakohtaisia kustannustekijöitä: Keskimääräisen kaivuvaikeuden lisäksi on kaivua hinnoitettaessa otettava huomioon esim. louhikkoisuuden ja kivisyyden aiheuttama kaluston normaalia suurempi kuluminen ja rikkoutuminen sekä siitä johtuva hukka-ajan ja menojen lisääntyminen. Samoin on otettava huomioon myös roudan ja pohjamaasavien kuivuuden aiheuttama kaivuvaikeuden lisäys sekä mm. panostus- ja räjähdysainekulut vaikeissa routa- ja kivisyysolosuhteissa.

Työyksikön pääsy esim. 30 mk:n tavoitetuntiansioon edellyttää, että työmaata hinnoiteltaessa otetaan edellä esitetyn lisäksi huomioon myös

kaluston siirtokustannukset työmaalle ja sieltä pois sekä työmaan upottavuudesta mahdollisesti johtuvat lisäkustannukset.

Taksaohjeet edellyttävät, että työmaa ei ole poikkeuksellisen upottava ja että sellaiset kohdat, joissa on pelättävissä kaluston uppoaminen, merkitään ojien kaivajalle annettaviin karttoihin sovitulla merkinnällä. Ojalinjat on työnantajan raivattava kunnolla 4 metrin leveydeltä. Puut on kaadettava lyhyeen kantoon ja rungot on poistettava ojalinjalta. Kaivettavat ojalinjat on merkittävä maastoon kepityksellä niin selvästi, että kaivutyön suorittaja saa vaikeuksitta selville ojalinjojen kulun.

423. Kaivuvaikeusluokituksen ja taksaohjeen käytäntöön soveltuvuuden tarkastelua

Luvussa 422 esiteltyä alustavaa kaivuvaikeusluokitusta ja taksaohjeen mallia lähetettiin nelisivuiseksi muistioksi tiivistettynä 260 kappaleen koe-erä ojitusta suorittaville organisaatioille sekä ojitusurakoitsijoille tutustumista ja käytännön kokeilua varten. Muistion oheen liitetyn tiedustelulomakkeen avulla pyrittiin saamaan selville, onko ko. luokitus tarpeen ja miten käyttökelpoinen se on. Lisäksi yritettiin selvittää, miten työmaakohtaiset kustannustekijät ja muut erikoistekijät olisi kaivuvaikeusluokituksessa otettava huomioon.

Yleishavaintona voidaan todeta, että käytännössä alaan perehtyneiltä henkilöiltä saapuneet vastaukset antavat myönteisen kuvan kaivuvaikeusluokituksen tarpeellisuudesta ja käyttökelpoisuudesta. Vastauksen liitteinä oli myös eräitä vallitsevaa käytäntöä ja työmaakohtaisia tekijöitä perusteellisesti valaisevia selvityksiä. Tiedustelu jouduttiin suorittamaan talvikautena. Siksi vastaajat eivät voineet ainakaan suuremmassa määrin kokeilla luokituksen käyttökelpoisuutta kesäaikaisissa olosuhteissa, vaan vastaukset perustuivat henkilön aikaisempaan kokemukseen.

Erityisesti pohjamaan luokitusta saattaisi olla tarkoituksenmukaista tuntuvasti yksinkertaistaa. Samoin taulukkoa 8 olisi kohdan E eli ojan koon osalta helppo huomattavasti supistaa. Suurta virhettä ei myöskään nähtävästi aiheutuisi, vaikka taulukossa esiintyvät puolipisteet korvattaisiin niitä lähinnä olevilla täysillä pisteillä. Tämän jälkeen luokitus tuntuisi olevan suhteellisen vähäisellä opetustyöllä helposti omaksuttavissa myös kentällä käytettäväksi tarkkana ja vähän lisätyötä antavana menetelmänä.

Kesällä 1968 kokeiltiin kaivuvaikeusluokituksen käyttökelpoisuutta Taivalkosken metsätyökoululla kaivurimiesten koulutuksen yhteydessä. Kokeilusta saadussa lausunnossa pidettiin ehdotuksen pistearvojen jakaantumista, niiden luokitusperusteiden määritystä ja näytteiden ottoa sopivina ja käyttökelpoisina.

Nyt esiteltyjen tutkimusten, tiedustelun ja alustavan luokitusohjeen käytännön kokeilun pohjalta tullaan esittämään uusi yksinkertaistettu luokitusohje käytäntöä varten.

5. YHDISTELMÄ

Tutkimuksessa on pyritty aikatutkimuksen menetelmin selvittämään ojakohtaisten maastotekijöiden vaikutus metsäojakaivureiden työtehoon. Lisäksi kyseiseen aineistoon ja vuonna 1963 kerättyyn aineistoon pohjautuen on pyritty laatimaan metsäojien kaivurityön kaivuvaikeusluokitusehdotus ja selvittämään sen käyttökelpoisuutta.

Maastotyöt suoritettiin kesä- heinäkuun vaihteessa vuonna 1967 maastoltaan mahdollisimman vaihtelevilla Keskusmetsälautakunta Tapion Helsingin, Porin, Lahden ja Mikkelin metsänparannuspiirien alueilla olevilla työmailla. Ensisijaisesti pyrittiin tutkimaan kaivulaitteen käyttöä ja tähän liittyviä lyhyitä siirtoja kaivuasemasta toiseen. Samalla selvitettiin kuitenkin mahdollisuuksien mukaan kuljettajan ajan käyttöä työmaalle tulosta työmaalta lähtöön saakka. Rinnan aikatutkimuksen kanssa mitattiin tai luokitettiin kaikki mahdolliset kaivurin työtehoon vaikuttaneet ojakohtaiset vaikeustekijät.

Poistetut maamäärät sekä eri aikalajit ja niiden prosenttiosuudet laskettiin käsityönä. Samoin laskukonekäsittelyllä tutkittiin, miten lapiokaivun ja konekaivun vaikeusluokat korreloivat kaivuajan ja ojalinjalla tapahtuneen siirtoajan kanssa. Sitä vastoin eri kaivuvaikeustekijöiden vaikutusta kuutiometrin kaivamiseen ja tähän liittyviin siirtoihin kuluneeseen aikaan tarkasteltiin tietokoneelle laaditulla kovarianssianalyysiohjelmalla.

Kaikkiaan tutkittiin 12:n Ukko-Mestari-kaivulaitetta käyttävän kaivurin ja yhden RH4- kaivukoneen työskentelyä 614 paaluväliä eli 6 140 metrin kaivun ajan. Keskimääräinen ojan poikkileikkauspinta-ala välittömästi ojan kaivun jälkeen oli 0.95 m^2. Käyttötraktoreista viisi oli Fiat 50 C-merkkistä, yksi Valmet 860 Terra sekä loput kuusi Nuffield 4/60 tai 10/60-merkkisiä. Myös telarakenteessa esiintyi vaihtelua.

Aikalajijakaantumasta voidaan todeta, että keskeytysaikojen osuus työmaa-ajasta oli 18 %, mikä kaikki oli tarpeellista keskeytysaikaa. Keskeytysajat olivat vähentyneet vuodesta 1963 vuoteen 1967 noin puoleen, minkä vastapainona kaivulaitteen käytön osuus kohosi 53 %:sta 70 %:iin. Siirtojen osuus muuttui vastaavasti 13 %:sta 12 %:iin.

Vuoden 1964 aineiston kuutiometrin kaivamisen keskimääräinen työmaaaika oli 1.87 minuuttia ja kaivulaitteen käyttöaika miltei tasan minuutti.

Kun vastaavat ajat olivat vuonna 1967 1.26 minuuttia ja 0.88 minuuttia, voidaan todeta, että kaivulaitteen käyttö on nopeutunut melko vähän, mutta työmaa-ajan käyttö on tullut huomattavasti entistä tehokkaammaksi. Hitaimman Ukko-Mestari- yksikön tuotos oli 30.0 m^3/h, keskimääräisen 59.6 m^3/h ja nopeimman 111.9 m^3/h. Hitailla työyksiköillä kaivuvaikeusluokan muuttuminen I:stä IV:ksi nosti kaivu- ja siirtoaikaa noin kahdeksan kertaa niin paljon kuin nopeilla työyksiköillä.

Vaikka tehokkaimmat työyksiköt saivat kovarianssianalyysissä parhaat nopeusarvot, analyysi osoitti selvästi, että kuljettaja vaikuttaa työtulokseen ratkaisevimmin. Tehokkaaksi kuljettajaksi kehittymiseen vaaditaan nähtävästi useamman vuoden työskentelykokemuksen lisäksi ennen kaikkea luontaisia taipumuksia.

Selvästi voimakkain kaivutyötä haittaava maastotekijä on kivisyys. Kivien koon ja määrän vaikutuksesta osoittautui määrä selvästi kokoa haittaavammaksi tekijäksi. Suoranaisen kaivun hidastumisen ohella koneen kuluminen ja rikkoutuminen on kivisessä maastossa keskimääräistä huomattavasti pahempaa. Tämä lisää vielä osaltaan kaivutyön tuottamattomia aikalajeja.

Kaivettavan maan laadulla on myös merkittävä vaikutus kaivutyön hankaluuteen. Kuitenkin pohjamaan laadun vaikutuksen päättelyssä kuivuusasteen vaihtelun vuoksi voi tulla eräissä tapauksissa huomattavia virheitä. Esimerkiksi savi tutkimustyömaiden edullisissa oloissa oli yhtä nopeaa kaivaa kuin turve, mutta kovettuneena se saattaisi olla sangen hidas kaivettava. Hankalimpia kaivumaita sekä aika- että kulumistekijän kannalta olivat moreeni- ja kivikkomaat.

Myös kaivettavan ojan koolla on suuri vaikutus työtulokseen. Ukko-Mestarin kaltaisella kaivulaitteella tehdyn ojan optimikoko oli 1.8 m^2. Siirtyminen normaalin metsäojan suuresta koosta pieneen aiheutti huomattavan kuutiomitoissa ilmaistun tuotoksen alenemisen.

Neljäs ojakohtainen merkittävä vaikeustekijä on ojalinjalla ollut puusto. Jos ojalinjalla esiintyi runsaasti tukkipuiden kantoja, tämä hidasti jo selvästi kaivutyötä. Kuitenkin koneiden voiman ja maastokelpoisuuden lisääntyminen on muuttanut puuston vaikutuksen kolmeen edelliseen tekijään verrattuna melko vähäiseksi. Samasta syystä lieoillakin alkaa olla merkitystä kaivuaikaan vasta silloin, kun niitä esiintyy erittäin runsaasti. Kaivuvaikeustekijänä liekoisuus voidaankin yleensä yhdistää maan pinnan puisuuteen.

Kuljettaja — koneyhdistelmän, kivisyyden, ojan koon, pohjamaan laadun ja puiden runsauden lisäksi muut tekijät eivät merkittävästi vaikuttaneet kaivu- ja tähän välittömästi liittyviin siirtoaikoihin. Kuitenkin esimerkiksi huono ojalinjan raivaus aiheutti eräissä tapauksissa kaivureiden rikkoutumisia ja siten edelleen lisäkustannuksia ja tehoajan osuuden vähenemistä. Samanlainen tilanne saattaa olla myös pahoissa uppoamistapauksissa.

Metsäojien kaivuvaikeusluokituksen ja kaivun hinnoittelun osalta voidaan todeta, että lapiokaivun aikana käytettiin varsin yksityiskohtaisia, laajoihin metsäojien kaivun työaikatutkimuksiin perustuneita hinnoitustauluja. Metsäojituksen koneellistuminen on kuitenkin täysin muuttanut lapiokaivun aikana vallinneen tilanteen ja ojitustyön toteutus tapahtuu nykyään yleensä urakkakilpailun perusteella muodostunein yksikköhinnoin. Menettelystä aiheutuu sekä hyötyä että haittaa. Haittatekijöiden poistamiseksi on sekä käytännön että tutkimuksen taholla laadittu kaivurityön kaivuvaikeusluokitusehdotuksia.

Tämän ja vuoden 1964 tutkimuksen tulosten perusteella päädyttiin laatimaan pisteinä ilmaistuihin tehoajan eroihin perustuva kaivuvaikeusluokitusehdotus, joka esitettiin tutkimuksen luvussa 422. Kaivuvaikeuden pistearvo saadaan taulukon 8 mukaisesti laskemalla yhteen peruspistearvoon 10 kivisyyden, pohjamaan, puuston ja ojan koon antamat pistearvot. Taulukko 7 on tämän päätaulukon aputaulukko, josta selviää, kuinka mones paaluväli olisi vähintään tutkittava tietyn suuruisista hankkeista tai ojaryhmistä, jotta saataisiin riittävä näyttö kaivuvaikeudesta. Taulukossa 9 taas esitetään malli, miten tehoajan eroihin pohjautuvien pistearvojen perusteella hinnoitustaulukot on laadittava.

Laaditun ohjeen koekappaleen perusteella suoritetun laajan ennakkotiedustelun tulos antoi kyseisen kaivuvaikeusluokitus- ja taksaohjeen käyttötarpeesta ja -kelpoisuudesta yleisesti ottaen varsin positiivisen kuvan. Pienten korjausten ja yksinkertaistusten jälkeen tuntuisi perustellulta tarjota ohjetta yleisesti käytettäväksi.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

Huikari, Olavi. 1953. Ojitusdynamiitin käytöstä metsäojituksessa. Summary: The use of dynamite in the drainage of swamps for forestry purposes. MA n:o 9.

—»— 1958. Metsäojituksen koneellistamisesta. Referat: Über die Mechanisierung der Waldentwässerung. MTJ 50.

Huikari — Muotiala ja Wäre. 1964. Ojitusopas. Helsinki.

Komiteamietintö 1967: B 27. Maarakennusalan kustannusstandarditoimikunnan mietintö. Helsinki.

Leppävuori, Toivo. 1968. Kaivukoneiden tehotutkimus vesiuomien rakentamisessa. Moniste Maataloushallituksen insinööriosaston järjestelytoimistossa.

Lukkala, O. J. 1928. Metsäojituksien uudet hinnoitustaulut. MA n:o 2.

—»— 1939. Metsäojien kaivun työaikatutkimuksia. Referat: Arbeitszeituntersuchungen zu der Aushebung von Waldgräben. MTJ 28.

—»— Kotilainen, Mauno J. 1951. Soiden ojituskelpoisuus. Helsinki.

—»— Tirkkonen O. O. J. 1939. Metsäojien hinnoitustaulut. Helsinki.

Markola, U. 1966. Metsäojien konekaivun hinnoittaminen traktorikaivureita varten. Moniste Keskusmetsälautakunta Tapiossa.

Niskanen, Matti. 1963 a. Kokemuksia traktorikaivureiden käytöstä metsäojituskoneina. Maansiirto n:o 2.
—»— 1963 b. Prissättningen av maskinell skogsdikning jämte därpå verkande omständigheter. Skogsbruket nr 3.
—»— 1968. Kehittyvää metsäojitustekniikkaa. Kuudennet valtakunnalliset metsäojittajien konepäivät Jyväskylässä. Moniste esitelmän lyhennelmästä.
Numminen, Erkki. 1959. Metsäojien aurauksen kaivuvaikeusluokituksen perusteita. Summary: Basic principles of classifying the difficulty of forest plough ditching operations. Suo n:o 1.
—»— 1960. Nykyhetken näkymiä metsäojien aurauksen vaikeustekijöistä. Summary: The factors determining the difficulty of forest ditch ploughing in the light of contemporary conditions. Suo n:o 3.
—»— 1961. Metsäojien aurauksessa viime aikoina esille tulleita seikkoja. Summary: Recent observations made in forest ditch ploughing. Suo n:o 3.
—»— 1963. Metsäojien auraus talvella. Maansiirto n:o 1.
—»— 1964. Metsäojakaivureiden työtehotutkimus. Abstract: An investigation on the efficiency of forest trenching machines. Suo n:o 2.
Peltomäki, Erkki. 1954. Kaivukonetutkimuksia. Moniste Maataloushallituksen insinööriosastolla.
Pjavtšenko, N. I. ja Sabo, J. D. 1962. Osnovy gidrolesomelioratsii. Moskva.
Pohjoismaiden metsätyöntutkimusneuvosto. 1963. Tanskan, Suomen, Norjan ja Ruotsin metsätyöntutkimussanasto. Tiedotus n:o 1. Stockholm.
Päivänen, Juhani. 1963. Traktorikaivurit metsäojituskoneina. Summary: Digging—Tractors in forest drainage. Suo n:o 3.
Saarento, Heikki. 1961—62. Kaivukoneista I—VIII. Maansiirto n:o 10/1961 ja 1—4, 7—8 ja 10—11/1962.
—»— 1962. 50 vuotta kaivukoneen tulosta Suomeen. Maansiirto 5—6.
Tanttu, Antti. 1911. Ojitustaulut metsäojitusta varten lasketut luisuille 1/0.4, 1/0.6, 1/0.8 ja 1/1. Ojan pohjan leveys kaikkialla 0.3 m. Helsinki.

Lyhennykset — Abbreviations:

MA = Metsätaloudellinen Aikakauslehti
MTJ = Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*

ON THE EFFICIENCY OF LIGHT EXCAVATORS IN FOREST DITCHING AND A PROPOSAL FOR THE CLASSIFICATION OF DIGGING DIFFICULTY

Summary

Background, aim and material of the study

Excavators have already been used for several decades in ditching operations. In forest ditching light excavators [1]) were introduced in Finland in the late 1950's, and from this time both the absolute and the relative amounts of ditches dug with them have steadily increased (Fig. 1). Mechanical light excavators have been replaced by hydraulic equipment; however, it seems that even certain ordinary excavators will be able to last under the hard pressure of the competition prevailing within this field. Figs. 3 a and 3 b show two efficient working units of great mobility; furthermore, they show the difference between light and ordinary excavators in the sense of this work.

The aim of the present study was to establish, by means of the tools of time study, the influence of different terrain factors on the efficiency of light excavators. Furthermore, on the basis of the material collected for this study and additional data collected in 1963, a classification of digging difficulty in mechanical ditching was drawn up and its adaptability to practice tested.

Field work was carried out in the end of June and beginning of July 1967 and the material collected from working sites located in the Forest Improvement Districts of Helsinki, Pori, Lahti and Mikkeli of the Central Forestry Board Tapio (Fig. 2). Hereby, special efforts were made to get a material which in the best possible way would cover the whole range of variation in terrain quality. In the first place the study was aimed at finding out the actual digging time and the time used for associated short movements along the ditch line from one digging position to another. At the same time, however, the driver's time consumption from the moment of his arrival to his departure from the working site was examined as far as possible. Abreast with the time study all difficulty factors that could possibly have influenced the efficiency of the machines were measured and classified.

The soil volumes removed and the amounts of time of different categories as well as their relative proportions were calculated using adding machines. Likewise, calculators were used to study the correlation between the difficulty classes both for hand and mechanical digging and the actual digging time plus the time consumed for movements along the ditch line. The influence of different factors of digging difficulty on the time consumed for digging one cubic metre as well as on the corresponding time of movements, on the other hand, were studied by means of covariance analysis in a data processor.

---

[1]) In the present paper the term light excavator refers to mechanical working units where the shovel is mounted on a farm tractor or the like.

In all the work of 12 combinations of an Ukko-Mestari shovel and various tractors as well as of one excavator RH 4 was studied on a total stretch of 6 140 metres. Immediately after digging the cross-section area of the ditch averaged 0.95 sq.m. Among the tractors used, five were Fiat 50 C, one, Valmet 860 Terra, and six, Nuffield 4/60 or 10/60. With regard to their track construction, too, the tractors showed great variation (Table 2).

Results of the time study

Fig. 4 shows the categories of time separated as well as their proportion of the work site time. Notable is that the proportion of delay time was only 18 per cent of the work site time, and that all of it was unavoidable delay time. From 1963 to 1967 the proportion of the delay time has decreased by one half, and this has made an increase from 53 to 70 per cent possible in the proportion of the actual digging time. Correspondingly, the proportion of the time consumed for movements has changed from 13 to 12 per cent.

Fig. 5 and Table 1 present the work place time consumed for digging one cubic metre of ditch and its distribution by partial time classes for each work site studied and on an average. The average work site time for digging one cubic metre was 1.87 minutes according to the material of 1964, the actual digging time being almost exactly one minute. As, in the material of 1967, the corresponding times were 1.26 and 0.88 minutes respectively, we may conclude that, while the actual digging work has become only slightly more rapid, the use of the work site time has become much more efficient. The work output of the slowest Ukko-Mestari unit was 30.0 cu.m. per hour, that of the medium, 59 cu.m. per hour, and the fastest, 111.9 cu.m. per hour.

Fig. 6 shows the influence of the digging difficulty class for manual digging on the working speed of fast and slow working units. The corresponding results when using the digging difficulty classes for mechanical digging are presented in Fig. 7. Generally speaking, we may conclude that the influence of increasing digging difficulty on the speed of work is much smaller for fast units than for slow ones. For instance, a change in digging difficulty from Class I to Class IV (classification for mechanical diggers) caused an increase in the actual digging time and the time for movements along the ditch line that was eight times greater for slow working units than for fast equipment.

Table 2 presents the speed values obtained for different working units by means of covariance analysis. Even if the machine combinations of the greatest efficiency got the highest values, the analysis clearly indicated that the most important factor is the capability of the driver. It seems that development to a skilled driver requires, except for several years of experience, natural inclination.

Clearly the most important hindering factor in digging is stoniness (Table 3). The abundance of stones showed to be of greater influence than their size. Despite direct slowing down of the work, wearing out of the machinery is more rapid and break downs more frequent in stony ground than on an average, and this, in turn, adds to the number of time classes needed.

The quality of the soil to be removed, too, is of marked importance for the difficulty of digging (Table 4 and Fig. 8). In some cases, however, variation in the moisture content of the soil might cause considerable errors. For instance, digging in clay soil is, under favourable moisture conditions, as easy as digging in peat, whereas in hardened clay, progress of digging may be rather slow. The soils causing the greatest difficulties both with regard to the time and wearing factor are moraine and stony soils.

The size of the ditch also affects the output of work to a great extent (Table 5 and Fig. 8). The optimum size of ditches to be dug using diggers of the kind represented by Ukko-Mestari is 1.8 sq.m. Proceeding from large ditches to small caused a considerable decrease in the output of digging in terms of cubic metres according to the present study.

The fourth difficulty factor of importance is the tree stand that has grown along the ditch line (Table 6). Abundant occurrence of stumps of sawtimber trees along the ditch line slowed down the progress of work to a marked degree. On the other hand, increased engine power and mobility in the terrain have made the influence of the tree stand relatively small in comparison with the above-mentioned three factors. Likewise, the occurrence of snags in the peat is of significance for the digging time only when the snags are abundant. As a digging difficulty factor, the occurrence of snags may usually be united with the stubbiness of the soil surface.

In addition to the driver + machine, stoniness, ditch size, subsoil, and stubbiness, other factors did not affect, to any significant degree, the times of actual digging and movements along the ditch line. However, for instance careless clearing of the ditch line caused in some cases break downs of the machinery and, in consequence of this, additional costs and a decrease in the efficient time. This might also happen in difficult cases of foundering.

Classification of digging difficulty in forest ditching

In those times when forest ditches were made by hand, quite detailed tables were used for determination of digging difficulty and for pricing digging work. These tables were based on comprehensive time study on digging. Mechanization of forest ditching, however, has completely changed the situation, and presently ditching work is usually paid for using unit prices that have been formed as a result of competition between contractors. Such a manner of proceeding has advantages, but also disadvantages. In order to eliminate disadvantageous factors, proposals for the classification of digging difficulty in mechanical digging have been presented both on practical and scientific level.

On the basis of the present study and that of 1964, a digging difficulty classification was done based on differences in time consumption expressed in terms of scores. The score value of the digging difficulty is obtained from Table 8 by adding, to the basic score value (= 10), the values indicating stoniness, subsoil, stand size, and ditch size. Table 7 is an auxiliary table which shows how many chains of ditch line must be studied on work sites of different size in order to get a sample of sufficient magnitude for determination of the digging difficulty. Table 9, on the other hand, shows how pricing tables should be compiled on the basis of the score values based on the effective time.

A comprehensive enquiry was carried out concerning the demand for and usability of such a classification of digging difficulty and price recommendations. It was based on a model drawn up on the basis of the present data. Generally speaking, the enquiry gave positive results and it seems feasible to offer, after minor corrections and simplifications have been made, the instructions to practical use.

SAHANHAKKEEN TIHEYS JA PAINO

OLLI UUSVAARA

SUMMARY IN ENGLISH

ON DENSITY AND WEIGHT OF SAWMILL CHIPS

HELSINKI 1969

Helsinki 1969. Valtion painatuskeskus

Alkusanat

Sahanhake on erityisesti viime sotien jälkeen muodostunut huomattavaksi sellutehtaiden raaka-aineeksi, ja tehtaille toimitetut hakemäärät ovat suhteessa sahojen jätepuumääriin osoittaneet jatkuvaa nousua. Metsäntutkimuslaitoksessa katsottiin siten aiheelliseksi selvittää joitakin sahanhaketta koskevia erityisesti massateollisuuden kannalta tärkeitä ominaisuuksia ja ongelmia, joista tähän mennessä on ollut saatavissa vain vähän luotettavia tietoja.

Esillä olevan tutkimuksen kenttätyöt käynnisti keväällä 1967 metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosaston silloinen päällikkö professori Paavo Aro.

Tullessaan samana kesänä osaston johtoon professori Veijo Heiskanen otti tutkimuksen ohjaukseensa. Hän on auliisti antanut kaikkea mahdollista apua ja neuvoja työn eri vaiheissa sekä tarkastanut käsikirjoituksen.

Käsikirjoituksen ovat lukeneet myös metsäntutkimuslaitoksen ylijohtaja, professori Viljo Holopainen sekä tohtori Pentti Hakkila, joka myös monella muulla tavalla on antanut apuaan työn kestäessä.

Monia käytännöllisiä neuvoja olen saanut lisäksi dipl. ins. Olavi Isomäeltä Sahateollisuuden Sivutuoteyhdistyksestä.

Kenttä-, laskenta- ja laboratoriotöissä avusti yo. Markku Mäkelä. Tutkimuksen myöhemmissä vaiheissa olivat mukana myös neiti Irma Kumpulainen, ylioppilas Sirkka Raivio sekä rouva Aune Rytkönen. Työtä ovat myötämielisyydellään tukeneet sekä kenttätöiden järjestelyissä avustaneet useat eri teollisuuslaitosten toimihenkilöt. Kaikille edellä mainituille tahdon lausua vilpittömät kiitokseni.

Helsingissä joulukuussa 1968.

Olli Uusvaara

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1. Johdanto 7
2. Tutkimusmenetelmä ja aineisto 10
   21. Tutkimusmenetelmä 10
   22. Tutkimusaineisto 12
3. Tutkimustulokset 15
   31. Kuljetuksen aikana tapahtuva painuma 15
      311. Painumaan vaikuttavat tekijät 15
      312. Painuma 16
   32. Haketiheys 20
   33. Hakkeen kuivapaino ja puuaineen tiheys 25
      331. Hakkeen kuivapaino 25
      332. Hakkeen puuaineen tiheys 32
   34. Hakkeen tuorepaino ja kosteus 33
4. Tiivistelmä 38

Kirjallisuutta 41

Summary 44

1. JOHDANTO

Sahanhakkeen tärkein käyttömuoto on selluteollisuus. Hakkeen arvoon sellun raaka-aineena vaikuttavat toisaalta puuaineen ja toisaalta itse hakkeen laatu ja ominaisuudet. Tärkeimpiä hakkeen laatutekijöitä ovat seuraavat.

— Hakeosasten pituuden pitäisi sulfiittikeitossa pysytellä 10—50 mm:n rajoissa ja paksuuden sekä sulfiitti- että sulfaattikeitossa 2—6 mm:n välillä. Sulfaattikeittoon ei hakkeen pituudella ole yhtä selvää vaikutusta.

— Hakevauriot aiheuttavat sellun lujuuden huononemista.

— Hakeosasen suunta puussa vaikuttaa mm. keittoajan pituuteen.

— Hakkeen kuoripitoisuus ja epäpuhtaudet alentavat massan laatua. Nykyisten laatuvaatimusten mukaan kuoripitoisuus ei saa ylittää 1 painoprosenttia.

— Hakkeen tasaisuus edistää sellun pakkaustiheyttä ja saantoa.

— Hakkeen kosteus ja sen tasaisuus vaikuttavat massan saantoon ja lujuusominaisuuksiin.

Edellä esitettyjen hakkeen laatuun vaikuttavien tekijöiden lisäksi hakkeen arvo riippuu haketiheydestä, jolla tarkoitetaan irtokuutiometrin sisältämää puumäärää k-m^3/i-m^3 sekä hakkeen kuivapainosta kg/i-m^3.

Sahanhakkeen osalta ovat runkopuuhakkeesta poikkeavia ominaisuuksia suurempi pintapuupitoisuus, puuaineen laadun tasaisuus ja puuaineen tiheys sekä hakkeen vähäisempi oksaisuus (Hakkila 1966 ja 1967.) Sahanhaketta massan raaka-aineena sekä sen eroja runkopuuhakkeeseen verrattuna ovat käsitelleet mm. Holekamp (1955), O. Wurz, ja E. Wurz (1955), Sanyer, Keller ja Martin (1961), Alm, Järvelä et.al. (1962), Worster ja Sugiyama (1963), Jensen, Aarnio et.al. (1963), Rautio (1965) sekä Melo ja Madsen (1966).

Hakkeen palakokoa ja sen vaikutusta hakkeen ja valmistettavien sellujen ominaisuuksiin ovat käsitelleet mm. Iwanow ja Märker (1958), Vilkki (1959), Thunell ja Thalen (1961), Feiner ja Gallay (1962), Heiskanen (1961 ja 1962 a ja b), Colombo, Corbetta et.al. (1964) ja Isomäki (1967).

Hakkeen joukossa oleva kuori vaikuttaa epäedullisesti valmistettavien jalosteiden laatuun ja ulkonäköön. Se vie keitossa tilaa sekä kuluttaa kemikaaleja ja voimaa (Sim 1954). Kuoren määrällä, purunosuudella, tikkuisuudella sekä seulomattoman hakkeen joukossa olevilla suurilla puukappaleilla on vaikutusta useihin hakkeen ominaisuuksiin sekä sen kautta hakkeen arvoon.

Hakkeen määrän kannalta on haketiheys tärkeä kysymys. Sitä ovat selvitelleet Lindahl (1949), Thunell (1952), Nylinder (1958), Vilkki (1959), Thunell ja Thalen (1961), Heiskanen (1962 a), Siimes (1962), Isomäki (1966 ja 1967). Ruotsissa ovat tiheyden määrittämiseksi käyttäneet laatikkomittausta Thunell (1952) ja Nylinder (1958).

Kun puhutaan hakkeen tiheydestä tai kuivapainosta olisi aina mainittava, onko ilmoitetut tulokset saatu ennen vai jälkeen kuljetuksen. Kuljetuksen aikana saattaa näet hakekuormassa tapahtua huomattavaakin painumista, jonka suuruus riippuu mm. kuljetusmatkan pituudesta, tien laadusta, auton laadusta sekä ajotavasta. Tietoja painuman suuruudesta antavat Luomi (1959), Siimes ja Liiri (1959), Heiskanen (1962 a), Jäntti (1962), Taipale (1961 ja 1962) sekä Skogsstyrelsens Bränsleflisundersökning (1966).

Absoluuttisen kuivan hakeirtokuutiometrin painoon vaikuttavat puuaineen tiheys ja hakkeen tiheys eli hakelastujen sulloutuneisuus. Ruotsissa ovat sahanhakkeen painoa käsitelleet Edling ja Nordström (1958) ja Nylinder (1958). Suomalaisista hakkeen painoa koskevista tutkimuksista mainittakoon Vilkki (1959), Taipale (1960) sekä Heiskanen (1962 a ja 1963 b). Huomattava on lisäksi, että saman puulajinkin paino vaihtelee riippuen esim. iästä ja kasvupaikasta (esim. Jalava 1952, Hakkila 1966). Samankin sahan hakkeen paino voi siis vaihdella riippuen siitä miltä alueelta ja millaisesta metsiköstä raaka-aine kulloinkin on hankittu.

Tuoreen hakekuutiometrin painoon vaikuttaa puuaineen tiheyden ja haketiheyden lisäksi hakkeen sisältämä vesimäärä, joka vaihtelee tuoreen puun kosteuden ja tukkien varastoimistavan sekä -ajan mukaan. Tuoreen hakkeen painolla on merkitystä mm. hakkeen kuljetusten kannalta.

Hakkeen kosteus on tunnettava, jos halutaan määrittää hakekuorman kuivapaino. Lisäksi kosteus vaikuttaa hakkurin terien kuntoon sekä hakepalojen rikkoutumiseen. Sahanhakkeen kosteutta ovat tutkimuksissaan käsitelleen mm. Lindahl (1949), Bell (1953), Nylinder (1958), Taipale (1960) ja Heiskanen (1963 a).

Koska tiedot monista sahanhakkeen ominaisuuksista ovat osittain puutteellisia pantiin metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosastolla keväällä 1967 alulle esillä oleva tutkimus, jossa pyritään selvittelemään

männyn ja kuusen sahausjätteestä valmistetun hakkeen painoa, hake- ja puuainetiheyttä sekä näihin käsitteisiin liittyviä muita hakkeen ominaisuuksia. Aihe on rajoitettu Suomen eteläosaa koskevaksi, koska sahanhakkeen käytännöllinen merkitys on tällä alueella suurin (karttapiirros 1). Samalla on voitu vähentää maantieteellisen vaihtelun vaikutusta tuloksiin.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

21. Tutkimusmenetelmä

Tutkimus suoritettiin eräiden Etelä-Suomen sellutehtaiden ja niille sahanhaketta [1]) toimittavien sahojen avustamana (karttapiirros 1). Sahoilta merkittiin muistiin tärkeimpiä raaka-ainetta ja sen käsittelyä koskevia tietoja. Tämä suoritettiin yleensä käymällä paikan päällä sahalla ja joissakin selvissä tapauksissa puhelinkeskustelun perusteella. Hakkeen painot ja tilavuudet mitattiin autokuormina, joten tutkimuspaikkoina tulivat kysymykseen vain tehtaat, joiden sijaintipaikkakunnalla oli mahdollisuus käyttää autovaakaa. Sahalta tuleva auto ajoi kuormattuna vaa'alle, joka rekisteröi bruttopainon. Kuorman tyhjennyksen jälkeen auto punnittiin tyhjänä, jolloin näiden kahden punnitustuloksen erotus ilmaisi kuorman painon.

Kuljetuksen aikana tapahtuvan vajoaman selvittämiseksi yleensä kekomaiseksi muodostuva kuorma tasoitettiin sahalla täyttämisen jälkeen laidan tasalle siten, että kukkuraa ei jäänyt lainkaan. Tasoitustyön suoritti auton kuljettaja sahan valvonnassa. Täten saatiin vajoama lasketuksi lavan mittojen mukaisen lähtötilavuuden ja perillä mitatun tilavuuden erotuksena.

Hakekuorman pinta oli yleensä kuljetuksen jälkeen epätasainen, minkä vuoksi se uudelleen tasoitettiin ennen tilavuuden mittausta tehtaalla. Lavan pituus, leveys ja korkeus mitattiin auton ollessa tyhjänä useammasta kohdasta cm:n tarkkuudella, ja tilavuus laskettiin soveltamalla eri ulottuvuuksien mittalukujen keskiarvoja. Tilavuutta mitattaessa otettiin huomioon kuljetuksen aikana mahdollisesti tapahtuneen laitojen pullistuman vaikutus kuormatilan leveyteen ja pituuteen arvioimalla kuormatilan muuttuminen suoran vertailutangon avulla. Kuorman korkeuden määrittämiseksi mitattiin hakepinnan vajaus laidan yläreunasta. Mittaus suoritettiin lavan etu- ja takalaidan keskeltä sekä kummaltakin sivulta tasavälein kolmesta eri kohdasta ja cm:n tarkkuudella tasaavasti. Lyhyissä lavoissa tyydyttiin kummallakin sivulla vain kahteen mittaukseen, ja vastaavasti erityisen pitkissä lavoissa mittauksia lisättiin. Kuorman keskikorkeus saatiin edellisen perusteella, kun tiedettiin laidan korkeus ja vajauksien keskiarvo.

Hakekuorman tilavuuden ja punnitustulosten perusteella voitiin laskea hakeirtokuutiometrin tuorepaino. Koska mitattavat hake-erät sisältävät

[1]) Lyhyyden vuoksi tullaan sahanhakkeesta jäljempänä käyttämään vain nimitystä »hake» milloin ei ole vaaraa sekoittaa käsitettä runkopuusta valmistettuun hakkeeseen.

vaihtelevia määriä vettä ja koska haluttiin määrätä puuaineen kuivapaino irtokuutiometriä kohti, otettiin kuormasta näytteitä kosteuden selvittämiseksi. Yhden kuorman kosteusnäytteen muodosti viisi litran hake-erää, joista kaksi tai kolme otettiin kuorman pintaosista ja loput kuorman muista osista purkauksen edistyessä. Koska hakekuorman pinta saattaa kuivahtaa kuljetuksen aikana, kaivettiin kuorman päällä talikolla kuoppa ja pintanäyte otettiin sen pohjalta. Jos kosteuden epäiltiin olevan kuormassa normaalia epätasaisemman näytteiden lukumäärä lisättiin kaksinkertaiseksi. Kerätty 5—10 litran hake-erä sekoitettiin välittömästi tilavassa muovipussissa. Näin homogenisoidusta näytteestä erotettiin litran erä, joka suljettiin tiiviisti muovipussiin. Tuoreet hakenäytteet punnittiin tehtaalla 0.01 g:n tarkkuudella.

Edellä selostettua näytteenottomenetelmää ja sen virhemahdollisuuksia selvittävät Nylinderin (1958), Nisulan (1960 ja 1961) sekä Heiskasen (1963 a) tutkimukset. Nisulan tutkimuksissa on hakkeen kuivapitoisuuden variaatiokerroin kuorman sisällä ollut 2.8 otettaessa homogenisoitu näyte edelläkuvatulla tavalla. Nylinderin (1958), mielestä menetelmällä saavutettu viiden prosentin tarkkuus on riittävä. Tällöin riittää noin neljä litran näytettä kosteusprosentin määrittämiseksi autokuormasta. Sekahake (mänty-kuusi-sekoitus) oli tarkoitus jättää hakkeen painotutkimuksen ulkopuolelle koska puulajisuhteista ei ollut tietoa. Joitakin sekahakekuormia kuitenkin tuli punnituksi siinä vaiheessa, kun saha siirtyi sahauksessaan puulajista toiseen. Kosteuden määrityksiä ja painuman mittauksia sen sijaan tehtiin myös sekahakkeesta. Heiskasen (1962 a) mukaan puulajin vaikutus painumaan on yleensä erittäin vähäinen.

Kunkin sahan hakkeesta tehtiin seulontakokeita palakokojakautuman selvittämiseksi. Seulontaerä käsitti joko n. 20 l tai n. 7 kg haketta. Näyte kerättiin kuorman eri osista purkamisen yhteydessä. Seulonta suoritettiin Williams-koeseulalla, jossa on useita päällekkäin asetettavia seulalevyjä. Levyjen reikien yleisimmät koot olivat milleinä > 32, > 25 (26), > 19 (18), > 13 (12), > 6 ja < 6 (puru). Yhdessä tutkimuspaikassa seulalevyjä oli vähemmän, ja reikien läpimitat olivat $> 32 > 16 > 6 > 2$ ja < 2 mm. Eri fraktioitten osuus määritettiin prosentteina kokonaispainosta.

Mittaus- ja punnitusmenetelmässä on eräitä virhemahdollisuuksia. Autot täytettiin kaikissa tapauksissa laskemalla hake siilon luukuista alla olevan auton lavalle. Hakkeen pudotessa joskus verrattain kovalla vauhdilla alas saattoivat auton kuormatilan sivuseinät antaa periksi, varsinkin jos laidat olivat heikkotekoiset. Kuljettajien kertoman mukaan tällainen kuitenkin oli harvinaista ja pullistuma syntyi vasta kuljetuksen aikana. Mittauspaikalla lavan leviäminen jäi mittaamisen vaikeuden takia jossakin määrin arvion varaan, joten joissakin tapauksissa on voinut syntyä hieman virhettä.

Autokuormassa punnittaessa saattaa tulla virhettä siten, että auton taarapainoa ei saada tarkalleen määritetyksi. Autoon tarttuu märillä ilmoilla

jonkinverran rapaa, mutta kesäaikana ilmiön aiheuttama virhe on vähäinen (vrt. Heiskanen 1961). Polttoaineen vaihtelu säiliössä voi aiheuttaa enemmän virhettä, varsinkin kun autoja ei voi käytännön hakkeenkuljetuksissa velvoittaa käymään vaa'alla jokaisen kuorman tyhjennyksen jälkeen. Kuljetus oli kuitenkin säännöllistä, ja polttoainesäiliön käyttö tapahtui yleensä samassa vaiheessa ajon aikana.

Vaakojen punnitusteho vaihteli 20 000—50 000 kilon ja tarkkuus 10—50 kilon välillä. Joissakin tapauksissa auton lava oli niin pitkä, ettei auto mahtunut kokonaan vaa'an sillalle. Tällaisessa tapauksessa auto punnittiin kahdessa osassa. Tällöin syntyy pieni virhe, jolla ei kuitenkaan ole käytännön merkitystä, mikäli mittauspaikka on tasainen.

Kenttätöiden aikana tuoreena punnitut hakenäytteet kuivattiin laboratoriossa absoluuttisen kuiviksi ja punnittiin. Kosteudet laskettiin prosentteina näytteen kuivapainosta sekä vertailun vuoksi lämpöteknikoiden käyttämällä tavalla vesipitoisuutena eli veden määränä näytteen tuorepainosta. Tämän jälkeen voitiin laskea kuorman sisältämä puumäärä kiloina sekä hakeirtokuutiometrin kuivapaino.

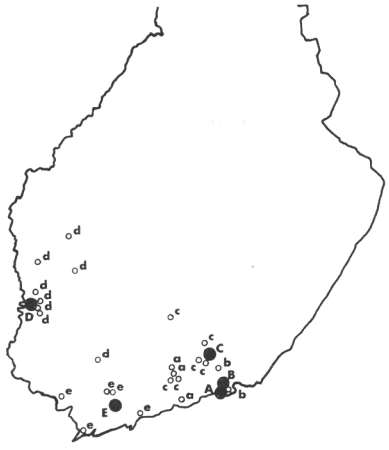
Hakkeen puuaineen tiheyden määrittämiseksi kuormien hakenäytteitä liotettiin vedessä, kunnes ne upposivat. Hakepalaset punnittiin vedessä ja sen jälkeen ilmassa, jolloin saatiin selville näytteen tilavuus. Kun puuaineen tiheys kg/km^3 laskettiin, voitiin sen ja kuorman puuaineen painon avulla määrätä kuorman kiintokuutiosisältö sekä haketiheys (k-m^3/i-m^3).

22. Tutkimusaineisto

Mittauspaikkoina olleiden sellutehtaiden sekä niille haketta toimittaneiden sahojen sijainti on esitetty karttapiirroksessa 1. Tutkimusaineiston jakaantuminen eri sellutehtaiden kesken nähdään seuraavasta asetelmasta.

	Kuormia, kpl	i-m^3
Tehdas A	28	961.6
» B	52	1 252.9
» C	34	984.8
» D	78	1 781.0
» E	28	915.7
Yhteensä	220	5 896.0

Aineistossa on mukana pelkkää kuusta, mäntyä ja kumpaakin puulajia sekaisin sisältäviä kuormia. Näiden suhteet aineistossa ilmenevät taulukosta 1, jossa esitetään aineiston jakaantuminen sahoittain.



Karttapiirros 1. Mittauspaikkoina olleiden sellutehtaiden ja niille haketta toimittaneiden sahojen sijainti.
Map 1. Pulp mills and sawmills covered by the study.

Tehdas A ● = *pulp mill*
Saha a ○ = *sawmill*

Taulukko 1. Tutkimusaineisto ja sen jakaantuminen sahoittain ja hakelajeittain.
Table 1. Distribution of the study material by sawmills and kinds of chips.

Saha, n:o *Sawmill no.*	Hakkuri *Chipper*	Hakekuormia, kpl — *Number of truckloads*				i-m³ *Loose cu.m.*
		Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Seka *Mixed*	Yhteensä *Total*	
1	Karhula 2 400/4	21	—	—	21	706.1
2	Kotka 50	—	3	—	3	109.4
3	Karhula 2 000/4	—	4	—	4	146.1
4	Karhula 2 500 S/5	—	37	—	37	830.0
5	Karhula 2 000 S/5	—	9	6	15	426.3
6	Karhula 2 000/4	2	5	1	8	320.7
7	Karhula 2 100/3	—	4	2	6	240.5
8	Karhula 1 200/2	4	7	2	13	239.9
9	Karhula 1 600/3	—	3	1	4	127.0
10	Karhula 1 200/2	—	2	—	2	44.2
11	Pirkka 1 200/2	1	—	—	1	16.0
12	Karhula 2 000/4	—	2	—	2	118.4
13	Johansson	5	3	11	19	361.0
14	Ari FLM 2	2	—	—	2	82.6
15	Söderhamn 711 A/3 ...	13	—	—	13	256.1
16	Ammus	—	9	—	9	272.7
17	Karhula 1 200/2	12	—	—	12	237.0
18	Karhula 1 200/2	—	—	19	19	381.9
19	Karhula 1 200/2	2	—	—	2	103.0
20	Söderhamn 710-45 A/4	—	14	—	14	480.0
21	Söderhamn 710-45 A/4	—	6	—	6	207.2
22	Ari FLM 2	—	4	—	4	138.1
23	M-Harjunpää (Pirkka) ..	—	—	2	2	32.0
24	M-Harjunpää (Pirkka) ..	—	—	2	2	22.5
Yht. — *Total*		62	112	46	220	5 898.7

Tehtyjen seulontakokeiden perusteella aineisto jakaantui siten, että välillä 6—32 mm oli keskimäärin 92.8 painoprosenttia hakemääristä arvojen

vaihdellessa 86.4—98.5 %:in, joten hake oli keskimäärin hieman alle laatuvaatimusten.

Kokonaisuudessaan keskimääräinen jakautuma oli seuraava (vrt. hakkeen ihannemitat, Isomäki 1966):

Yli 32 mm	4.2 %
32—25	11.0
25—19	24.7
19—13	21.7
13— 6	35.5
alle 6	2.9

Eri ostajatehtailla hakkeen laatuvaatimukset vaihtelevat huomattavasti, mutta useimmat tehtaat ovat kokonaan luopuneet laatumaksutavasta. Nykyisten toimitussopimusten mukaan pitäisi lastunpituutta 6—32 mm olla 95 % koko hakemäärästä (Isomäki 1967). On syytä huomauttaa, että sahanhake voidaan laadullisesti saada yhtä hyväksi kuin runkopuusta tehty hake. Hakepalasten paksuus ja pituusjakautuma riippuvat vain hakkurista ja hakkurin terien kunnosta. Jotkut tehtaat ostavat myös seulomatonta haketta keittohakkeen joukkoon, joka kulkee vielä tehtaassa seulan ja hakkurin kautta. Mainittakoon, että Yhdysvalloissa suuren Crown Zellerbach Corp. yhtiön ostohakeluokittelun vaatimuksien mukaan $> 1''$ jaetta saa olla ≤ 5 %, $^1/_4'' - 1'' \leq 90$ % ja $< {}^1/_4'' \leq 5$ % hakemäärästä (Bentley 1960).

Aineiston perusteella laskettu kuljetusmatkan keskiarvo oli seuraava:

aritmeettinen keskiarvo ..... 63.0 km ± 8.91 (3.0—130.0 km)
hakemäärillä painotettu keskiarvo ..... 51.6 km

Seuraavassa asetelmassa on esitetty aineiston jakaantuminen kuorman koon mukaan.

	Kuormia, kpl		
Kuorma, i-m³	Punnitut	Punnitsemattomat	Yhteensä
15—25	77	32	109
26—35	36	3	39
36—45	36	8	44
45+	12	4	16

Kuorman keskimääräinen koko oli seuraava:

aritmeettinen keskiarvo ..... 38.80 i-m³ ± 3.71 (18.19—73.86 i-m³)
hakemäärillä painotettu keskiarvo ..... 32.35 i-m³

Isomäen (1964) suorittaman tiedustelun mukaan olivat kuljetusmatkan ja kuorman koon painotetut keskiarvot 55.4 km ja 37.2 i-m³. Esillä olevan tutkimuksen aineisto vastaa siis verraten hyvin ajomatkan ja kuorman koon kannalta käytännön keskiarvoja.

3. TUTKIMUSTULOKSET

31. Kuljetuksen aikana tapahtuva painuma

311. Painumaan vaikuttavat tekijät

Hakkeen kuljetuksen aikana tapahtuva kuorman painuminen eli vajoama merkitsee hakkeen kiintomitan ja irtomitan välisen suhteen muuttumista. Se johtuu pääasiassa hakepalasten, purun ja tikkujen sijoittumisesta toistensa väliin mahdollisimman tiiviisti. Painuma, joka havaitaan kuljetuksen aikana tapahtuvana hakepinnan laskeutumisena lavan laitoihin verrattuna, muodostuu seuraavista tekijöistä:

— hakepalasten varisemisesta
— kuormatilan muuttumisesta
— varsinaisesta vajoamasta

Avonaisesta hakekuormasta, joka tavallisesti on kekomainen ja kohoaa laidan yläreunaa korkeammalle, varisee lastuja tielle ajon aikana etenkin jos kuljetetaan kuivahtanutta haketta. Tällä häviöllä lienee kuitenkin merkitystä vain harvoissa tapauksissa (vrt. T a i p a l e 1962).

Kuormatilan muuttuminen aiheutuu heikoista ja huonosti tuetuista kuormatilan laidoista, jotka leviävät tai pullistuvat kuorman painon ja kuljetuksen aiheuttaman tärinän johdosta. Tämän tekijän vaikutus painumiseen on yleensä verraten vähäinen ja haitta voidaan käytännössä kokonaan poistaa (J ä n t t i 1962). Asia on hakkeen rautatiekuljetuksissa ehkä hieman toisin. J ä n t t i mainitsee, että rautatievaunun kuljetustila voi pitkän kuljetusmatkan aikana muuttua varsin paljon siten, että vaunun yläosa levenee ja siten kuormatilan korkeus alenee. Toisaalta nykyisin yleisiksi tulleet hakkeenkuljetusvaunut vähentävät kuormatilan muuttumisen vaikutusta.

Varsinaiseen vajoamaan vaikuttavat tärkeimmät tekijät ovat seuraavat (vrt. H e i s k a n e n 1962 a, J ä n t t i 1962, T a i p a l e 1962).

1. Kuljetustapa
2. Kuljetusmatka
3. Tien laatu
4. Hakkeen kosteus

5. Hakkeen palakoko (hakkuri)
6. Puulaji
7. Kuorman korkeus

Hakekuorma painuu kokoon sitä enemmän, mitä pitempi kuljetusmatka on sekä mitä huonompi ja kuoppaisempi tie on. Kuiva hake jää keveytensä ansiosta usein kuormatessa löyhäksi, jolloin se vastaavasti ajon aikana painuu kosteata enemmän.

Eri hakkurit tekevät hakepalojen koon, muodon ja tasakokoisuuden puolesta erilaista haketta. Yleisesti voidaan todeta, että mitä tiheämpää hakkurin tekemä hake alunperin on, sen vähäisempi on painuma kuljetuksen aikana. Painavampi puulaji painuu kuljetuksen aikana enemmän kuin kevyt, mutta yleensä puulajin vaikutus lienee erittäin vähäinen. Kuorman korkeus vaikuttaa painumaan siten, että mitä korkeampi on kuljetettava kuorma sitä suurempi on painuma.

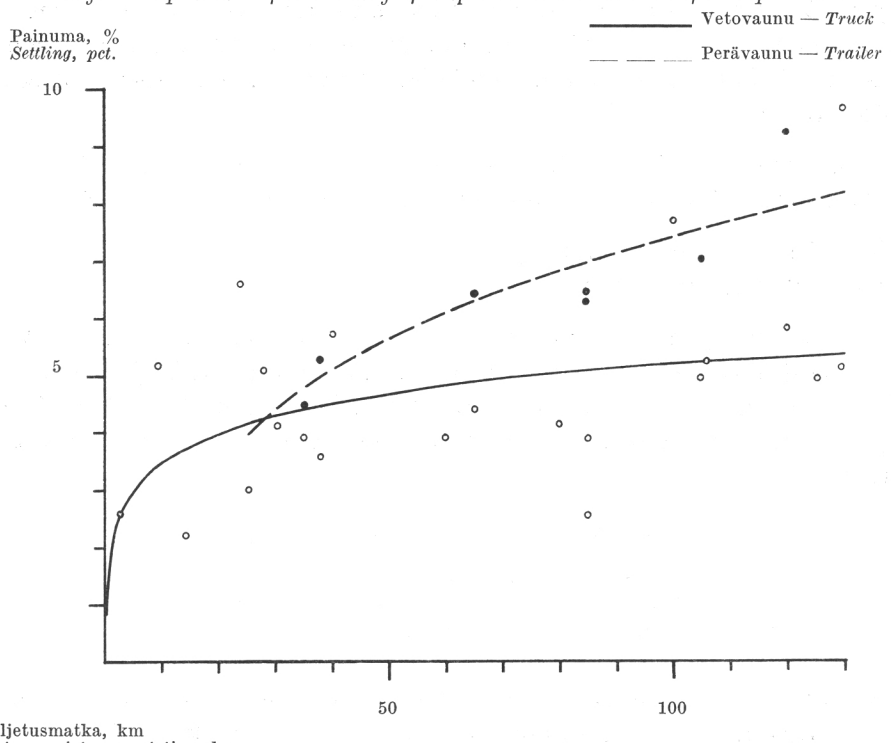
Edellä esitettyjen tekijöiden lisäksi voidaan ajatella eräiden muiden seikkojen kuten lastaustavan, kuljettajan ajotavan, auton lavamallin sekä hakkeen tikkuisuuden, puruisuuden ja kuoripitoisuuden vaikuttavan painuman suuruuteen. Ruotsissa saatujen kokemusten mukaan on painuma talvikuukausina pienempi kuin kesällä. Tämän seikan katsotaan johtuvan siitä että hake jäätyy möykyiksi osaksi siilossa ja osaksi auton lavalla (Föreningen Värmlands . . . 1958, Skogstyrelsens . . . 1966 mukaan). Käytännössä lienee aina niin, että painumailmiön aiheuttaa monien tekijöiden yhteisvaikutus, jolloin olosuhteista riippuen joku tai jotkut niistä tulevat muita paremmin esille.

Painumalla on huomattava merkitys käytännön hakekaupoissa sekä myyjän että ostajan kannalta. Koska hakkeesta maksetaan hinta auto- tai rautatievaunumitan mukaan tehtaalle toimitettuna, täytyy myyjän ottaa huomioon kuorman laskeutuminen ja lisätä kuormiin painumaa vastaava hakemäärä. Vaikka ostaja maksaa raaka-aineesta irtomitan mukaan häntä kiinnostaa kuitenkin hyvin paljon hakkeen kuiva-ainepaino (kg/i-m^3) sekä sellainen hakkeen koostumus, joka selluloosan valmistuksessa antaa parhaan tuloksen. Nykyisen menettelyn ollessa voimassa ostaja ei kuitenkaan todella tiedä paljonko puuta tai kuitukiloja hän kussakin toimituksessa saa, koska hakekuorman tiheyden lisäksi myös puuaineen paino vaihtelee.

312. Painuma

Kuvassa 1 on esitetty painuman suuruus kuljetusmatkan funktiona. Koska ilmeni, että erillisen perävaunun kohdalla vajoaman muodostuminen poikkeaa huomattavasti tavallisen lavan kohdalla tapahtuvasta painumasta, on perävaunulle laadittu eri kuvaaja.

Kuva 1. Painuman riippuvuus kuljetusmatkasta.
Fig. 1. Dependence of the settling of chip load on the distance of transportation.



Kuvasta havaitaan, että tavallisen vetovaunun lavan ollessa kyseessä painuma kasvaa matkan pidetessä aluksi jyrkästi ja myöhemmin enää hyvin vähän. Voidaankin todeta, että pitkien kuljetusmatkojen ollessa kyseessä suurin osa kuorman vajoamasta tapahtuu ensimmäisten 40 km:n aikana, minkä jälkeen painuma on verrattain vähäistä. On kuitenkin huomattava, että tämä pitää paikkansa vain keskimäärin, sillä käyrään liittyvä hajonta on suuri. Vetovaunun painuman hajonta kuvan 1 regressiokäyrältä on 1.6 prosenttiyksikköä ja korrelaatiokerroin vain 0.434. Poikkeuksen muodostavat mm. erityisen pitkät kuljetusmatkat joissa tien kunto on epätasainen, sekä pitkät kuljetusmatkat jolloin tien laatu on hyvä. Jälkimmäisessä tapauksessa painuma kasvanee verrattain tasaisesti koko kuljetusmatkan ajan. Thunell ja Thalen (1961) sekä Föreningen Värmlands Skogsarbetsstudier (1958, Skogsstyrelsens . . . 1966 mukaan) mainitsevat pääasiallisimman painuman tapahtuvan jo kahden ensimmäisen peninkulman aikana.

Perävaunun painumaa kuvaava käyrä on alussa huomattavasti vetovaunun kuvaajaa jyrkempi ja samalla tasaisempi. Erillisen perävaunun

ollessa kyseessä pitkillä kuljetusmatkoilla painumaa tapahtuu verrattain tasaisesti koko kuljetusmatkan ajan. Ilmeisesti tässäkin tapauksessa kuitenkin pätevät samat poikkeukset kuin vetovaunun kohdalla. Painuman kuvaajien regressioyhtälöt ovat:

Vetovaunu $Y = 1.87 + 1.72 \cdot \log x$ $r = 0.434$ $s = 1.6$
Perävaunu $Y = -4.38 + 5.89 \cdot \log x$ $r = 0.845$ $s = 0.8$

Y = hakekuorman painuma, %
x = kuljetusmatka, km

Vetovaunun ja perävaunun painumien keskiarvoiksi saatiin 4.0 % ja 6.6 %, mutta vaihteluväli oli suuri. Lyhyimmällä 3 km:n kuljetusmatkalla painuma oli 2.6 % ja pisimmällä 130 km:n kuljetusmatkalla 7.3 %. Eri kuljetusmatkoilla saatiin seuraavan asetelman mukaiset keskimääräiset painumat.

Kuljetusmatka, km	Painuma, %	Kuormia, kpl
1—15	3.8 ± 0.18	73
16—40	5.0 ± 0.27	42
40+	5.3 ± 0.22	74

Suomalaisista painumaa selvittelevistä tutkimuksista mainittakoon Heiskasen (1962 a) tutkimus jonka mukaan mänty-, kuusi- ja koivurangasta ja pinotavarasta lastutetun hakkeen painuma oli 1—90 km:n matkalla 1.4—6.2 %. Taipale (1962) sai lastutetun koivuhalkohakkeen painumaksi 20 km:n kuljetusmatkan jälkeen 3.8 %. Luomi (1959) on päätynyt lehtipuuranka- ja koivuhalkohakkeen kohdalla 1.5—5.0 % painumaan n. 30 km:n matkalla. Siimes ja Liiri (1959) arvelevat vajoaman auto- ja rautatiekuljetuksen aikana olevan suuruusluokka 4—8 % (vrt. Jäntti 1962). Vertailun vuoksi mainittakoon, että erään ruotsalaisen puutavarayhtiön suorittaman tutkimuksen mukaan oli painuma 200 km:n rautatiekuljetuksen jälkeen kuusi- ja mäntyselluhakkeella 5.3 ja 5.1 %.

Ruotsissa on tehty joitakin verrattain laajoja painumaa koskevia tutkimuksia. Thunell ja Thalen (1961) ovat saaneet seuraavat painumaarvot sahanhakkeelle.

Painuma, %	5 km	10 km	20 km	30 km	40 km	100 km
Vetovaunu	2—3	2.5—3.5	3—4.5	3 —5	3.5—5.5	4— 7.5
Perävaunu	3—4	3.5—5	4—6.5	4.5—7	5 —8	6—11

Toisen tutkimuksen mukaan olivat veto- ja perävaunua koskevat painumaprosentit talvi- ja kevätaikana seuraavat (Skogsstyrelsens Bränsleflisundersökning, 1966). Tulokset koskevat 40—70 vuotiasta harvennuspuuta.

	20 km		70 km		130 km		155 km	
	Vetov.	Peräv.	Vetov.	Peräv.	Vetov.	Peräv.	Vetov.	Peräv.
Talvi	2.9	4.3	5.0	5.5	4.0	5.1	5.2	6.2
Kevät	3.6	3.3	4.3	4.0	7.5	8.5	7.5	8.0

Edellämainituissa tutkimuksissa saadut tulokset ovat varsin paljon samankaltaisia käsillä olevan tutkimuksen tulosten kanssa. Föreningen Värmlands Skogsarbetsstudier (1958, Skogsstyrelsens . . . 1966 mukaan) mainitsee hakkeen vajoaman nousevan 60 km:n ajon jälkeen vetovaunulla 8 % ja perävaunulla 13 % asti.

Yleinen havainto koekuormia mitattaessa oli hakkeen suurempi painuminen kuorman peräosassa. Tämä johtuu ilmeisesti lähinnä siitä, että laskettaessa haketta luukkujen kautta lavalle kuorman keskiosat pakkaantuivat tiukemmiksi kuin keon reunat sekä siitä, että lavan peräosa hyppii ja tärisee enemmän kuljetuksen aikana. Saman havainnon on tehnyt myös T a i p a l e (1962).

Seuraavassa asetelmassa tarkastellaan kosteudeltaan erilaisen hakkeen painumaeroja. Hake on jaettu kolmeen ryhmään joissa kuivaksi hakkeeksi on määritelty hake, jonka kosteus kuivapainosta laskien on $\leqq$ 90 %, puolikuivaksi kosteudessa 91—139 %, ja märäksi hake, jonka kosteus on $\geqq$ 140 %.

Kosteus, %	Painuma, %	Kuormia, kpl
Kuiva hake	6.6 $\pm$ 0.66	17
Puolikuiva hake .	4.8 $\pm$ 0.18	97
Märkä hake	5.1 $\pm$ 0.17	40

Kahden viimeisimmän ryhmän välillä ei ole havaittavissa sanottavaa eroa. Sensijaan erityisen kuiva hake on painunut selvästi enemmän kuin kosteampi hake. Kuljetusmatka sekä erot lastauksessa sekoittavat jonkin verran tulosta. Kuorman tiivistymiseen tekovaiheessa vaikuttaa nimittäin esimerkiksi siilon aukkojen korkeus, siilon muoto ja syvyys. Jos hake putoaa vauhdilla ja paakkuina auton lavalle se tiivistyy enemmän kuin vähitellen variseva hake.

Taulukossa 2 esitetään painuma hakkureittain. Kuljetusmatkan vaikutuksen vähentämiseksi tulokset on ryhmitelty ajomatkan mukaan kahteen osaan.

Yleensä hakkeen painuma riippuu alkuperäisestä haketiheydestä siten, että mitä tiheämpään hake painuu jo lastattaessa sen pienempi on painuma kuljetusmatkan aikana. Jos verrataan eri hakkureiden painumaa vastaaviin haketiheyksiin, jotka on esitetty taulukossa 3 voidaan havaita, että esim. Ammuksen ja Söderhamn 710 — 45 A/4-hakkureiden painumat ovat huomattavasti keskiarvoa suuremmat. Söderhamn 711 A/3- ja Johansson-hakkureiden tiheydet ovat myös olleet pienet, mutta edellisen hakkurin

Taulukko 2. Painuman suuruus hakkureittain.
Table 2. The settling of the chip loads by chippers.

Hakkuri *Chipper*	Painuma, % — *Settling, pct.*			
	Kulj.matka alle 40 km *Distance of transportation less than 40 km.*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Kulj.matka yli 40 km *Distance of transportation more than 40 km.*	Kuormia, kpl *Number of loads*
Karhula 2 400/4 Karhula 2 000/4	—	—	5.1	30
Karhula 2 100/3	—	—	4.1	6
Karhula 2 500 S/5 Karhula 2 000 S/5	5.1	38	—	—
Karhula 1 200/2	4.2	33	5.1	14
Karhula 1 600/3	—	—	4.9	4
Kotka 50	—	—	4.9	3
Johansson	2.6	19	—	—
ARI FLM 2	4.5	4	7.7	1
Söderhamn 711 A/3	3.0	12	—	—
Söderhamn 710-45 A/4	4.2	4	6.2	16
Ammus	5.5	9	—	—
M-Harjunpää (Pirkka)	5.7	1	—	—
Painuman keskiarvo	4.4	—	5.4	—

valmistamaa haketta kuljetettiin suhteellisen lyhyt matka ja erittäin hyvää tietä, joten painuma jäi pieneksi. Viimeksimainitun hakkurin painuma muodostaa tässä yhteydessä poikkeuksen, sillä kuljetusmatka oli vain 3 km. Karhula 1 200/2-hakkurin haketiheys on yleensä suuri, joten painuman pitäisi olla pieni. Tässä tapauksessa kuitenkin suuri osa hakkeesta on ollut normaalia kuivempaa, joten tällaista suuntaa ei voi havaita.

Sekä haketiheyteen että painumaan vaikuttavat kuljetusmatkan ohella myös monet hakkeen ominaisuudet kuten lastujen laatu ja muoto sekä palakoko, jotka voivat samanmerkkisilläkin hakkureilla olla hyvin erilaiset. Siten joidenkin määrättyjen hakkureiden hakkeen painumia verrattaessa olisi puuraaka-aineen sekä valmistus- ja kuljetusolosuhteiden oltava täysin samanlaiset.

32. Haketiheys

Hakkeen tiheys, jolla tarkoitetaan yhden irtokuutiometrin sisältämää puumäärää k-m³/i-m³ on analoginen pinotiheys-käsitteen kanssa. Tiheys vaikuttaa hakemääriin siten, että mitä suurempi tiheys on, sitä pienempi on määrä irtotilavuusmitalla mitattuna. Haketiheys liittyy läheisesti painuma-ilmiöön, joten haketiheyteen vaikuttavat seikat ovat haketta kuljetettaessa samat, jotka edellä painuman yhteydessä ovat tulleet esille.

Haketiheys on myös osatekijänä vaikuttamassa hakeirtokuutiometrin tuore- ja kuivapainoon, sillä mitä tiukempaan hake on pakkautunut sitä

Taulukko 3. Hakkeen tiheys (k-m³/i-m³) hakkureittain ennen kuljetusta.
Table 3. Chip density (solid cu.m./loose cu.m.) before transportation by chippers.

Hakkuri *Chipper*	Tiheys, k-m³/i-m³ *Density, solid cu.m./loose cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*
Karhula 2 000/4⌊ Karhula 2 400/4⌋	0.367	0.013	26
Karhula 1 200/2	0.371	0.017	20
Karhula 1 600/3⌊ Karhula 2 100/3⌋	0.375	0.011	10
Karhula 2 500 S/5⌊ Karhula 2 000 S/5⌋	0.373	0.017	35
Ari FLM 2	0.386	—	3
Johansson	0.369	0.009	14
Söderhamn 711 A/3	0.369	0.004	10
Söderhamn 710-45 A/4	0.369	0.015	10
Ammus	0.357	0.006	7
M. Harjunpää (Pirkka)	0.376	—	1
Kotka 50	0.394	—	3
Keskiarvo — *Average*	0.375	—	—

suurempi on irtokuutiometrin paino. Jo haketta kuormattaessa vaikuttaa tiheyteen paljon, tapahtuuko kuormaus siilosta, kauhakuormaajalla lastaten vai hakkurilla puhaltaen, sekä mikä on hakkeen kosteus (vrt. Thunell ja Thalen 1962).

Hakepalojen muoto, palapituus sekä nimenomaan paksuus vaikuttavat huomattavasti haketiheyteen ja siis saantoon. Isomäen (1967) suorittamissa tiheyden laatikkomittauksissa havaittiin, että alle 4 mm jakeen määrän noustessa 5 %-yksiköllä, laski tiheys n. 0.01-yksikön verran. Lastun pituus ja paksuusjakauman kannalta on ratkaiseva tekijä hakkurimalli sekä hakkurin leikkuukulma ja terien kunto.

Taulukossa 3 esitetään haketiheydet hakkureittain. Tulokset on laskettu sahalla ennen kuljetusta matkan aiheuttaman vaikutuksen eliminoimiseksi. Joidenkin hakkureiden kohdalla on aineiston vähyyden vuoksi tuloksia pidettävä vain suuntaa-antavina. Tulosten kannalta olisi ollut edullista jos lastausolosuhteet ja hakkeen kosteus olisi eri tapauksissa voitu pitää samoina, mutta käytännön kokeissa tähän ei tietenkään ole mahdollisuuksia.

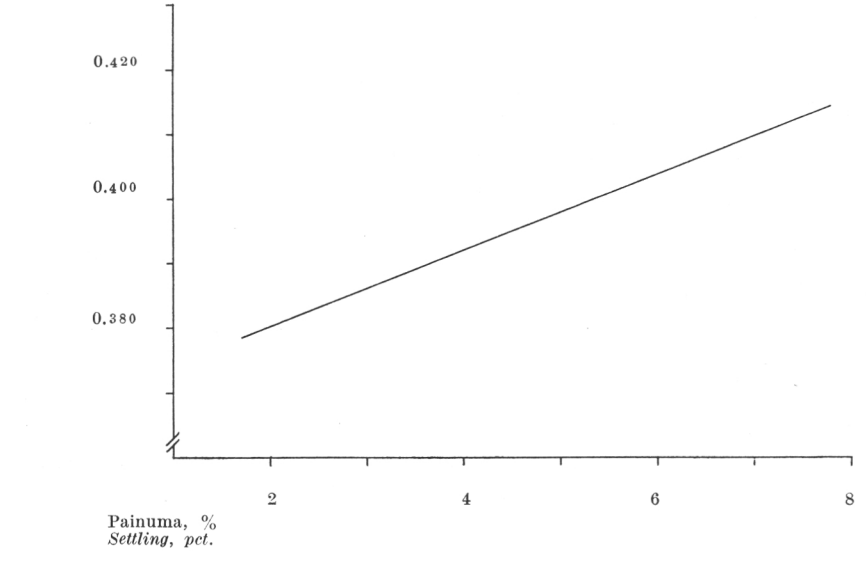
Karhula 1 200/2-hakkurin hakkeen tiheys on jäänyt pienemmäksi kuin esim. Heiskanen (1962 a) on saanut tutkimuksissaan, mutta ero johtunee siitä, että suurin osa kyseisestä hakkeesta oli valmistettu jo pitkälle kuivuneesta raaka-aineesta ja Heiskasen tutkimuksessa oli kyseessä paperipuuhake, joka kuormattiin hakkurilla puhaltaen. Ruotsalaisten tutkimusten mukaan märästä puusta saadaan tiheämpää haketta kuin kuivasta (Edling ja Nordström 1958, Heiskasen 1962 a mukaan). Muuten kyseisen hakkurin hake on hyvää ja tasapalaista. Isomäki (1968) on suorittanut hakkeen tiheyden laatikkomittauksia ja havainnut, että mitattaessa eri sahojen hakkeen tiheyksiä ei hakepituuden ja tiheyden

välillä aina voi havaita selvää riippuvuutta, koska hakepaksuus voimakkaammin vaikuttavana tekijänä peittää hakepituuden vaikutuksen. Kuitenkin näyttää siltä, että tasakokoisen hakkeen tiheys on yleensä pienempi kuin sellaisen, jossa on sekaisin kovin erikokoista haketta. Nimenomaan purujakeen lisääntyminen nostaa tiheyttä, kun taas tikkuisuus vaikuttaa päinvastaiseen suuntaan. Yleisesti tiedetään myös tylsien terien aiheuttavan hakkeen tiheyden pienenemisen.

Tässä valossa taulukon 3 tuloksia tarkasteltaessa Söderhamn 711 A/3-, Johansson- ja Ammuksen hakkureiden hakkeen alhainen tiheys näyttäisi johtuvan siitä, että hake oli verrattain suuri- ja tasapalaista. Söderhamn 710-45 A/4-hakkurin hakkeen alhaisen tiheyden 0.369 aiheuttajana oli osittain suuripalainen, isotikkuinen ja pitkälle kuivahtanut hake. On kuitenkin huomattava, että kunkin hakkurin tekemän hakkeen tiheys saattaa vaihdella, ja samat tekijät jotka vaikuttavat hakkeen palakokoa muuttavasti vaikuttavat myös hakkeen tiheyteen (H e i s k a n e n 1962 a).

Painuman ja haketiheyden välillä vallitsee selvä korrelaatio kuten voi havaita kuvasta 2. Suoraan liittyvä hajonta on suuri, sillä erot hakkeen kosteudessa, kuormausolosuhteissa jne. aiheuttavat vaihtelua. Suoran regressioyhtälö on $Y = 368.5 + 5.8978 \cdot x$ ja $r = 0.572$. Kaavassa Y = haketiheys k-m³/i-m³, x = hakekuorman painuma, %. Suuri painuma ei kuitenkaan ilman muuta edellytä suurta haketiheyttä, koska esim. kuiva hake voi kuormattaessa jäädä tavallista löyhemmäksi ja saavuttaa kuljetuksen aikana ainoastaan normaalin tiheyden.

Kuva 2. Haketiheyden riippuvuus painumasta.
Fig. 2. Dependence of the density of chips on the settling.



Kuten edellä mainittiin, alunperin pienen haketiheyden omaava hake painuu kuljetuksen aikana eniten. On luonnollista, että hakkeen tiheys yleensä kasvaa kuljetusmatkan pidetessä. Hakkeen tiheydet eri kuljetusmatkoilla saatiin seuraaviksi.

Kuljetusmatka, km	Tiheys, k-m³/i-m³	Kuormia, yht., kpl
1—15	0.390	49
16—40	0.388	43
40+	0.398	54
Keskimäärin	0.393	

Pisimmän kuljetusmatkan ryhmässä tiheys on saatu jonkin verran suuremmaksi kun taas kahden ensimmäisen ryhmän välillä ei ilmennyt eroa. Tämä johtuu pääasiassa aineiston epätasaisuudesta. Suurimman osan lyhimmän kuljetusmatkan kuormista muodosti erittäin märkä hake, joka jo kuormattaessa painui tiukkaan. Huomattava tihentyminen aiheutuu myös huonosta tiestä.

Taulukosta 4 ilmenevät tutkimuksen osoittamat tiheydet puulajeittain ennen ja jälkeen kuljetuksen. Tulokset osoittavat, että puulajilla ei näytä olevan sanottavaa vaikutusta haketiheyteen. Keskiarvot ovat sahalla 0.378 männylle, 0.372 kuuselle ja 0.371 havusekahakkeelle keskiarvon ollessa 0.374 k-m³/i-m³. Vastaanottomittauksen mukaiset keskiarvot ovat vastaavasti 0.396, 0.392, 0.386 ja koko aineiston keskiarvo 0.393 k-m³/i-m³. Aineiston laajuuden perusteella voidaan suositella käytettäväksi keskimääräisenä sahanhakkeen haketiheytenä lähtömittauksen mukaan 0.374 ja vastaanottomittauksen mukaan 0.393 keskimääräisen kuljetusmatkan ollessa noin 50—55 km. Keskiarvon keskivirhe on koko aineistolle 0.0013 ennen ja 0.0012 jälkeen kuljetuksen.

Taulukko 4. Hakkeen tiheys (k-m³/i-m³) ennen ja jälkeen kuljetuksen.
Table 4. Chip density (solid cu.m./loose cu.m.) before and after transportation.

Hakelaji *Kind of chips*	Tiheys sahalla, k-m³/i-m³ *Density at sawmill, solid cu.m./ loose cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Vaihtelurajat *Range of variation*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Tiheys tehtaalla k-m³/i-m³ *Density at receiving plant, solid cu.m./ loose cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Vaihtelurajat *Range of variation*	Kuormia, kpl *Number of loads*
Mänty – *Pine* ..	0.378	0.016	(0.341—0.409)	43	0.396	0.018	(0.357—0.436)	44
Kuusi – *Spruce* .	0.372	0.016	(0.337—0.438)	82	0.392	0.014	(0.357—0.461)	84
Seka – *Mixed* .	0.371	0.014	(0.346—0.397)	14	0.386	0.015	(0.361—0.408)	18
Kaikki – *All*	0.374	0.015	(0.337—0.438)	139	0.393	0.015	(0.357—0.461)	146

Taulukko 5. Hakkeen tiheys (k-m³/i-m³) tehtaattain ennen ja jälkeen kuljetuksen. Kaikki hakelajit.
Table 5. Chip density (solid cu.m./loose cu.m.) by pulp mills before and after transportation.

Tehdas *Pulp mill*	Tiheys sahalla k-m³/i-m³ *Density at sawmill, solid cu.m./loose cu.m.*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Hajonta k-m³/i-m³ *Dispersion solid cu.m./ loose cu.m.*	Tiheys tehtaalla k-m³/i-m³ *Density at receiving plant, solid cu.m./loose cu.m.*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Hajonta k-m³/i-m³ *Dispersion solid cu.m./ loose cu.m.*
A	0.386	21	0.014	0.406	21	0.014
B	0.373	35	0.017	0.394	41	0.017
C	0.374	32	0.014	0.395	32	0.014
D	0.368	38	0.014	0.382	39	0.014
E	0.371	13	0.017	0.393	13	0.014
Keskimäärin *Average* ...	0.374	—	—	0.393	—	—

Taulukossa 5 on esitetty hakkeen tiheyden keskiarvot sekä tehtailla kuljetuksen jälkeen että sahoilla ennen kuljetusta tehtyjen mittausten perusteella. Eri sahoilta ja tehtailta mitatut tulokset osoittavat, että aineiston ollessa yksityisen mittauspaikan kohdalla verrattain suppea, tiheys vaihtelee suhteellisen paljon keskiarvon molemmilla puolilla. Taulukon 4 mukaiset puulajeittaiset tiheysarvot taas ovat erittäin tasaisia.

Ruotsalaisten tutkimustuloksista voidaan esittää seuraavat haketta koskevat tiheysluvut.

Lindahl	(1949)	Sulfaattihake	0.385
		Vapaasti pudonnut hake	0.376
		Poljettu hake	0.395
Thunell	(1952)	.....	0.299—0.470
Beijbom	(1958)	Metsähake	0.40
Nylinder	(1958)	Selluloosahake	0.356—0.403

T h u n e l l i n ja T h a l e n i n (1961) mukaan hakkeen suhteellinen kiintopuuprosentti vaihteli hakkeen kuormauksen yhteydessä tehtyjen mittausten mukaan 32.6—38.6 %. Vuoden 1962 tutkimuksessa ilmoitetaan selluhakkeen tiheydeksi 0.352. Hakkeen pudotuskorkeus siilosta oli 2.3 ja 2.9 m. Kun pudotuskorkeus nousi 4.8 m:in saatiin 9 % korkeampi kiintopuuprosentti. Skogsstyrelsens Bränsleflisundersökning (1966) ilmoittaa 40—70 vuotiaasta harvennuspuusta tehdyn hakkeen kiintopuuprosentiksi seuraavat luvut:

Mäntyhake	33.4—40.6
Kuusihake	31.0—38.6
Sekahake	34.9—36.0

Edellä esitetyt T h u n e l l i n ja N y l i n d e r i n saamat haketiheydet ovat pienempiä kuin esillä olevassa tutkimuksessa saadut, sillä heidän tuloksensa perustuvat laatikossa suoritettuihin mittauksiin. H e i s k a n e n (1963 b) on todennut autokuormassa ja laatikossa mitattujen tiheyksien

eron vaihtelevan 13—24 %. Appelroth (1964) on saanut 4-metrisestä polttohakerangasta lastutetun hakkeen tiheyksiksi kahdella tutkimuspaikkakunnalla ennen kuljetusta 0.405 ja 0.457 k-m³/i-m³ sekä 30—40 km:n kuljetuksen jälkeen 0.420 ja 0.463 k-m³/i-m³.

Sahanhakkeen kohdalla on huomioitava tiheyttä alentavana seikkana se, että lyhyet katkaisupätkät ovat usein hakkurissa vaikeasti haketettavissa, jolloin syntyy suuria paloja sekä kokojakautumaltaan epätasaista haketta. Tällainen hake on sellutehtaan näkökulmasta katsottuna epäsuotuisaa ja aiheuttaa haittoja keittoprosessissa. Pitkät tikut samoin kuin pienijakoinen, purumainen hake tuottavat myös vaikeuksia sekä pienentävät saantoa. Voidaan myös olettaa, että vaihtelu hakepalasten koossa ja ulkonäössä jo pienessäkin määrin vaikuttaa haketiheyteen (Thunell 1952).

Nylinderin (1958) tutkimuksissa ilmeni myös, että seulomattoman hakkeen tiheys on korkeampi kuin seulotun. Tämä johtuu pienten puutikkujen ja purun sekoittumisesta hakkeen joukkoon. Kuorellisen hakkeen tiheys on Nylinderin tutkimuksissa 0.40—0.42.

Vilkki (1959) on saanut rangoista tehdyn kuorellisen hakkeen tiheydeksi 0.385 Hake M 7 A-hakkuria käytettäessä. Heiskasen (1962 a) tutkimusten mukaan metsähakkeen tiheys vaihteli eri hakkureilla ennen kuljetusta 0.34—0.42 ja jälkeen kuljetuksen 0.40—0.43. Kokeissa käytetyt hakkurit olivat Lokomo ZH 36 A, Karhula 1 200/2, Hake M 6, Pöttinger ja Fitchburg. Siimes (1962) ja Isomäki (1965) suosittelevat hakkeen keskimääräiseksi tiheydeksi 0.38 ja Juvonen (1967) on sahanhaketta koskevissa laskelmissaan käyttänyt tiheyttä 0.40. Heiskanen (1966) on laskenut teoreettiseksi sahanhakkeen haketiheydeksi 0.388.

33. Hakkeen kuivapaino ja puuaineen tiheys

331. Hakkeen kuivapaino

Haketta voidaan arvostaa eri tekijöiden kuten painon, kosteuden, palakoon ja tasapalaisuuden sekä hakkeen puhtauden perusteella. Näistä tekijöistä on hakkeen käyttäjän kannalta tärkein hakeirtokuutiometrin kuivapaino kg/i-m³. Se antaa parhaan kuvan käytettävissä olevasta puumäärästä ja siten myös hakkeen arvosta sekä mahdollisuuden suorittaa laskelmia massasaannosta.

Hakkeen irtokuutioyksikön kuivapainoon vaikuttavat haketiheys, puuaineen tiheys sekä kuoren paino. Kuivapaino on sitä suurempi mitä tiiviimmin hake on pakkautunut. Täten on hakkeen kuivapaino välillisesti sidottu samoihin tekijöihin, jotka määräävät haketiheyden suuruuden. Näinollen

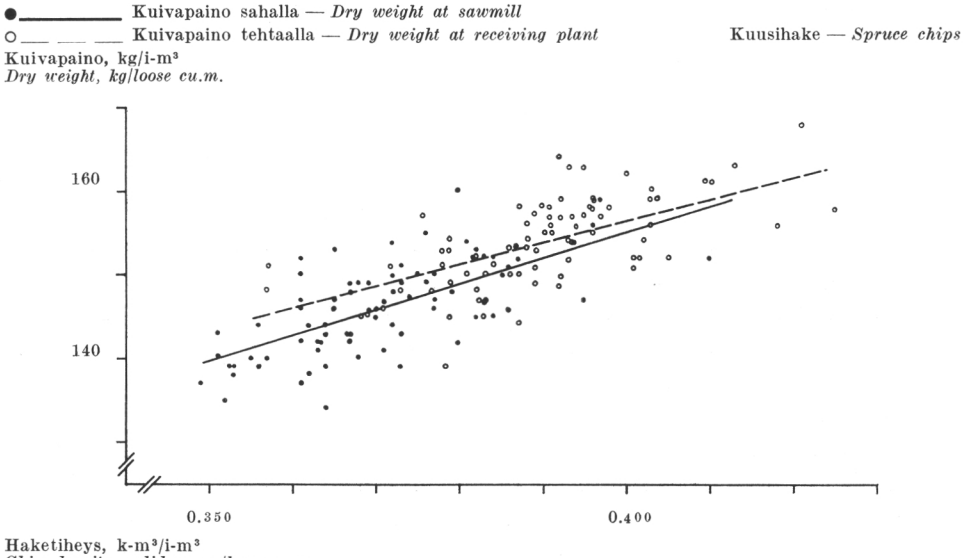
Taulukko 6. Hakkeen kuivapaino (kg/i-m³) hakkureittain ja hakelajeittain ennen ja jälkeen kuljetuksen.

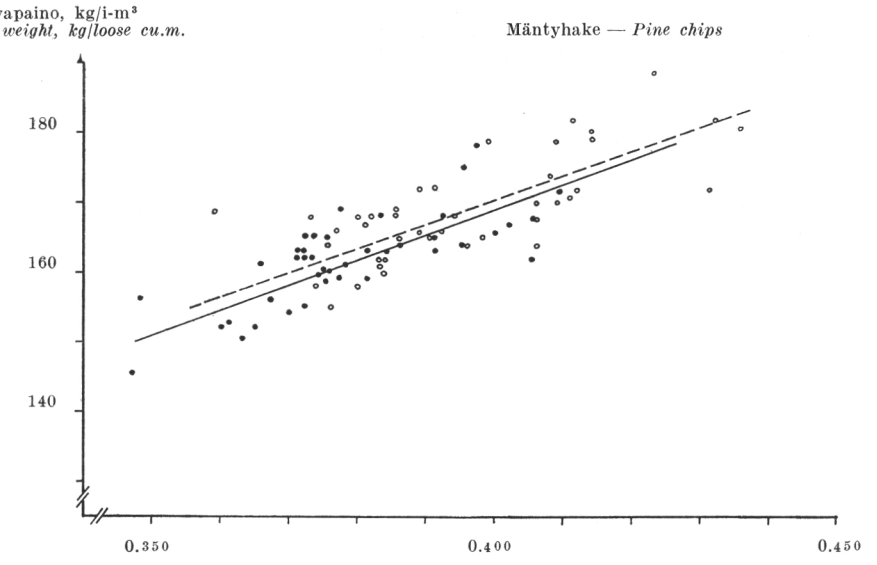
Table 6. Dry weight (kg./loose cu.m.) of chips by chippers and kinds of chips before and after transportation.

Hakkuri *Chipper*	Hakkeen kuivapaino, kg/i-m³ — *Dry weight of chips, kg/loose cu.m.*								
	Mäntyhake *Pine chips*			Kuusihake *Spruce chips*			Sekahake *Mixed chips*		
	Sahalla *At sawmill*	Tehtaalla *At receiving plant*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Sahalla *At sawmill*	Tehtaalla *At receiving plant*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Sahalla *At sawmill*	Tehtaalla *At receiving plant*	Kuormia, kpl *Number of loads*
Karhula 2 000/4 ⎫ Karhula 2 400/4 ⎭ ..	165.7	174.9	15—15	147.7	154.1	7— 7	154.1	160.3	1— 1
Karhula 1 200/2 ...	158.4	168.0	9— 9	143.3	154.0	8— 8	154.1	165.2	2— 2
Karhula 1 600/3 ⎫ Karhula 2 100/3 ⎭ ..	—		—	149.3	156.9	7— 7	156.3	161.9	3— 3
Karhula 2 500 S/5 ⎫ Karhula 2 000 S/5 ⎭	—	—	—	146.4	154.5	35—41	158.4	164.9	2— 4
Ari FLM 2	166.8	180.6	1— 1	148.3	156.4	2— 2	—	—	—
Johansson	160.0	166.2	5— 5	139.6	145.0	3— 3	151.7	155.6	7— 7
Söderhamn 711 A/3	158.4	163.4	10—11	—	—	—	—	—	—
Söderhamn 710-45 A/4	—	—	—	147.1	156.0	10—10	—	—	—
Ammus	—	—	—	139.0	147.0	7— 7	—	—	—
M-Harjunpää (Pirkka)	—	—	—	—	—	—	152.0	161.3	1— 1
Kotka 50	—	—	—	153.1	162.2	2— 2	—	—	—
Keskiarvo — *Average*	161.6	169.5	—	145.9	154.2	81—87	153.9	159.8	—

Kuva 3. Hakkeen kuivapainon riippuvuus haketiheydestä ennen ja jälkeen kuljetuksen.

Fig. 3. Dependence of the dry weight of chips on the chip density before and after transportation.





hakkeen palakoko ja palojen tasaisuus ja muoto vaikuttavat irtokuutiometrin painoon. Tasa- ja suuripalainen, kostea hake antaa yleensä suurimman kuivapainon. Tuloksia ilmoitettaessa on kuitenkin aina mainittava kuvaavatko luvut hakkeen painoa ennen vai jälkeen kuljetuksen sekä mikä puulaji on kyseessä. Taulukossa 6 esitetään käsillä olevasta tutkimuksesta irtokuutiometrin kuivapainot hakkureittain.

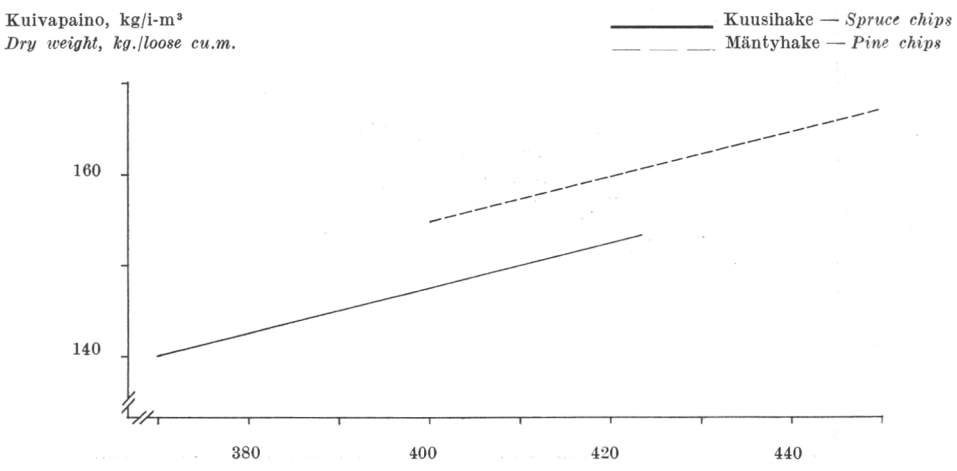
Kuvasta 3 nähdään tiheyden vaikutus kuivan mänty- ja kuusihakkeen irtokuutiometripainoon ennen ja jälkeen kuljetuksen. Suoriin liittyvä hajonta johtunee puuaineen tiheyden vaihtelusta sekä mittausvirheistä. Molemmissa kuvissa voidaan myös havaita sahalla ja tehtaalla mitattujen painoerojen hieman pienenevän haketiheyden kasvaessa. Kuvan perusteella voitaneen tehdä päätelmä, että mitä tiiviimmäksi kuorma muodostuu sahalla sen pienemmäksi jää keskimäärin painon kasvu irtokuutiometriä kohti.

Hakelaji	Mittauspaikka	Regressioyhtälö	r
Mäntyhake	Saha	Y = 26.1 + 0.358 x	0.785
	Tehdas	Y = 33.2 + 0.344 x	0.782
Kuusihake	Saha	Y = 31.4 + 0.309 x	0.696
	Tehdas	Y = 51.4 + 0.262 x	0.626

Y = hakkeen kuivapaino, kg/i-m³
x = haketiheys k-m³/i-m³

H e i s k a s e n (1963 b) tutkimuksissa on ilmennyt, että jos hake pakataan tiukkaan laatikoihin saadaan yli 10 % korkeampi irtokuutiometripaino

Kuva 4. Hakkeen kuivapainon riippuvuus puuaineen tiheydestä.
Fig. 4. Dependence of the dry weight of chips on the wood density.



Taulukko 7. Hakkeen kuivapaino (kg/i-m³) ennen ja jälkeen kuljetuksen.
Table 7. Dry weight of chips (kg./loose cu.m.) before and after transportation.

Hakelaji *Kind of chips*	Paino sahalla kg/i-m³ *Weight at sawmill kg./loose cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Paino tehtaalla kg/i-m³ *Weight at receiving plant*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*
Mäntyhake — *Pine chips*	161.6	6.54	40	169.5	7.44	40
Kuusihake — *Spruce chips*	145.9	5.42	81	154.2	5.33	81
Sekahake — *Mixed chips*	153.9	4.02	16	159.8	5.01	16

Taulukko 8. Hakkeen kuivapaino (kg/i-m³) tehtaattain ennen ja jälkeen kuljetuksen.
Table 8. Dry weight (kg./loose cu.m.) of chips by pulp mills before and after transportation.

Tehdas *Pulp mill*	Paino sahalla kg/i-m³ *Weight at sawmill kg./loose cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Paino tehtaalla kg/i-m³ *Weight at receiving plant kg./loose cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*
			Mäntyhake — *Pine chips*		
A	166.3	6.68	176.1	7.09	13
C	160.7	2.86	169.5	2.63	6
D	158.9	5.57	165.3	5.35	21
			Kuusihake — *Spruce chips*		
A	151.2	3.64	158.8	4.11	4
B	146.4	4.34	154.8	4.22	35
C	146.3	5.42	154.9	4.77	20
D	139.2	3.03	146.4	3.95	10
E	147.3	6.29	156.1	5.41	12
			Sekahake — *Mixed chips*		
B	—	—	164.9	1.94	6
C	155.2	2.09	162.7	3.16	6
D	151.7	4.27	155.6	4.24	7

kuin lapioimalla täytetyissä laatikoissa. Kuva 4 esittää hakkeen kuivapainon riippuvuutta puuaineen tiheydestä. Piirros on tehty sahalla ennen kuljetusta mitattujen tulosten perusteella. Regressioyhtälöt ovat.

Mäntyhake	$Y = 54.0 + 0.2519 \cdot x$	$r = 0.445$
Kuusihake	$Y = 52.3 + 0.2377 \cdot x$	$r = 0.481$

Taulukosta 7 ilmenevät hakkeen kuivapainot hakelajeittain koko aineistosta ennen ja jälkeen kuljetuksen tehdyn mittauksen perusteella. Pääasiassa puuaineen tiheyseroista johtuen on mäntyhake keskimäärin n. 15 kg/i-m³ painavampaa kuin kuusihake. Todellinen painoero kuusi- ja mäntyhakkeen välillä voi olla suurempikin, sillä eri puulajeista koostuvat hake-erät eivät ehkä aina ole olleet täysin puhtaita, vaan puulajin sekoittumista pääsee käytännön hakkeen valmistuksessa aina jonkinverran tapahtumaan. Taulukosta 8 nähdään hakkeen kuivapainot tehtaattain. On huomattava, että sahanhaketta ei ole aineistossa siinä todellisessa suhteessa kuin sitä sahoilta yleensä tulee, vaan kuten edellä on mainittu, pyrittiin puhtaan mänty- ja kuusihakkeen mittaamiseen. Sahahakekuormia kuitenkin punnittiin männyn ja kuusen ohella, ja taulukon 7 tulos osoittaa, että sekahakkeen paino on suunnilleen mänty- ja kuusihakkeen keskiarvo eli sekahakekuormissa oli keskimäärin yhtä paljon kumpaakin puulajia (vrt. myös taulukko 9).

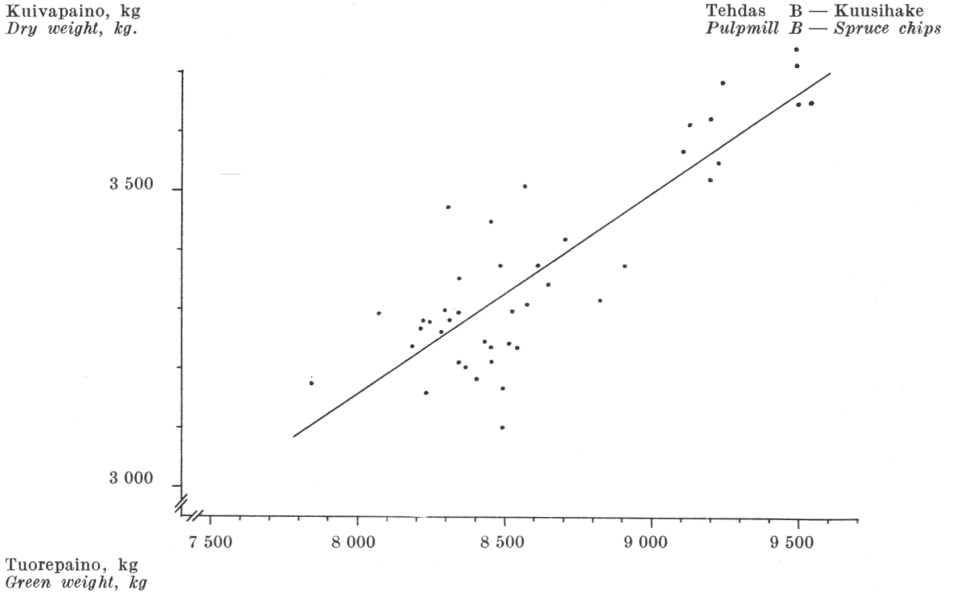
Taulukosta 8 voidaan havaita, että yksityisten tehtaiden kohdalla esiintyy jonkinverran poikkeamia hakkeen kuivapainon keskiarvosta. Tämä johtuu osittain puuaineen painon vaihtelusta sekä mahdollisuudesta, että joissakin tapauksissa hakkeen joukkoon on joutunut toisen puulajin haketta.

Kuljetuksen aikana tapahtuu hakkeen irtokuutiometrin kuiva-ainepainossa lisäys, joka on keskimäärin noin 5 %. Painonlisäys johtuu hakkeen tiheyden kasvamisesta, ja pitemmillä kuljetusmatkoilla painon kasvu on siten suurempi kuin lyhyemmillä ajomatkoilla (vrt. s. 23). Sekä haketiheyden että kuivapainon lisäys tapahtunee likimain painumaa esittävän kuvaajan mukaisesti. Hakkeen kuutioyksikön kuivapaino vaihtelee tiheyden ja puuaineen painon vaihteluiden johdosta. Suurimmat voivat vaihtelut olla sekahakkeella johtuen puulajisuhteitten vaihtelusta.

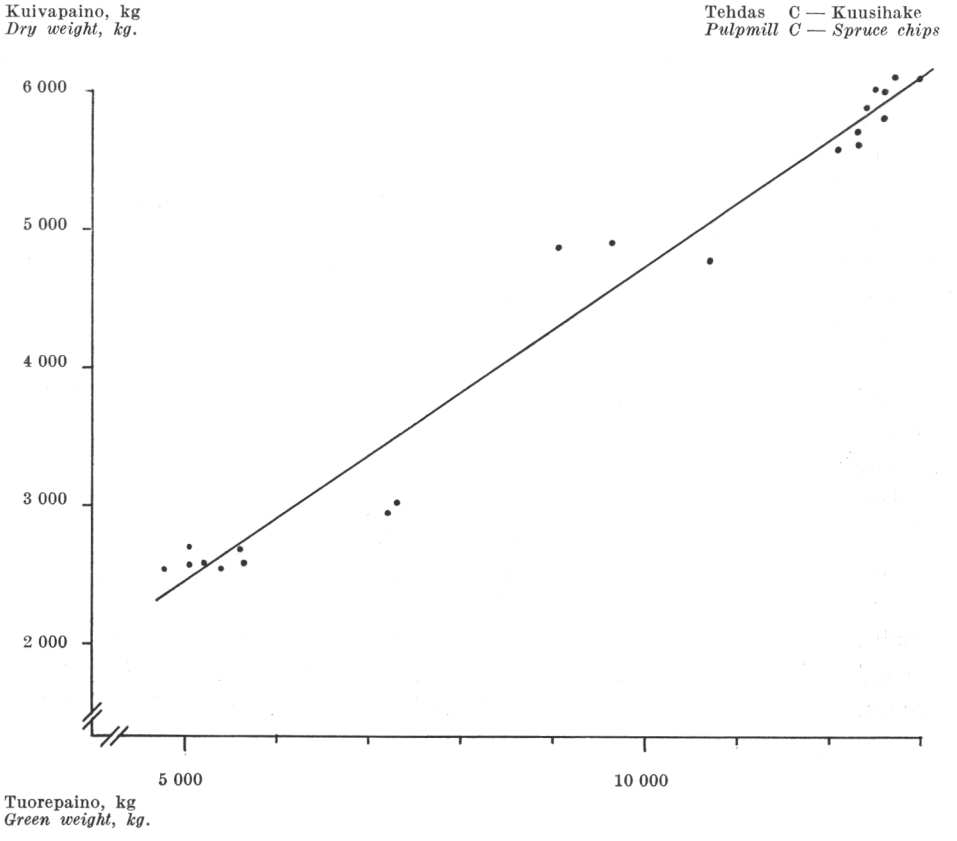
Nylinder (1958) on saanut kuoritun seulotun mäntyhakkeen kuivapainoksi 172 kg/i-m³ ja kuoritun seulotun kuusihakkeen painoksi 155 kg/i-m³. Tutkimuksessa ei ole mainittu onko tulokset laskettu ennen vai jälkeen kuljetuksen. Eding ja Nordström (1958, Heiskasen 1962 a) mukaan ilmoittavat sahanhakkeen kuivapainoksi kuljetuksen jälkeen 147 kg/i-m³. Taipaleen (1960) tutkimuksen mukaan havuhakkeen kuivapaino oli 187 kg/i-m³.

Sellutehtaan vastaanottaman raaka-aineen arvo riippuu hakeirtokuutiometrin kuivapainosta. Useat tehtaat punnituttavat säännöllisesti vastaanottamansa hakekuormat, mutta missään ei meillä liene vielä ainakaan jat-

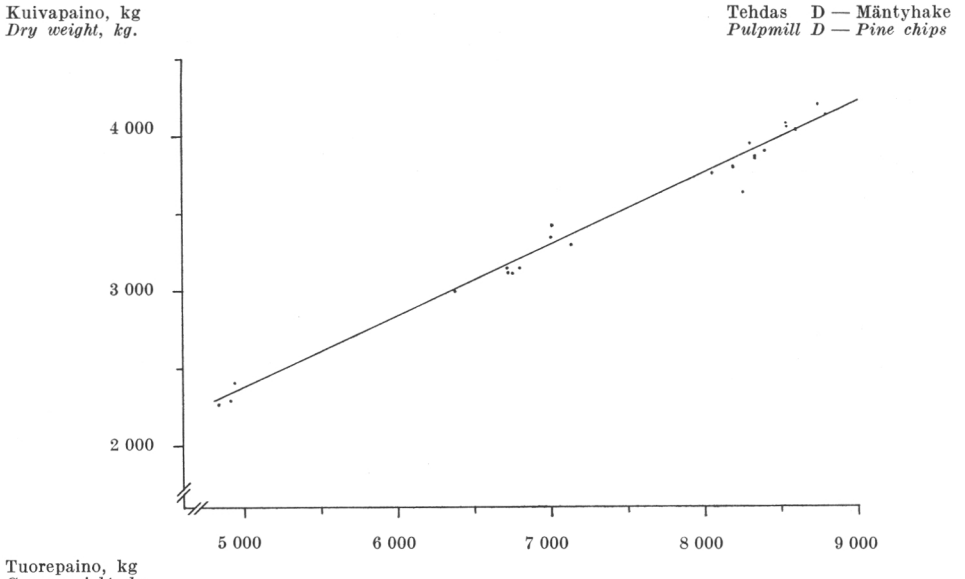
Kuva 5. Hakekuormien tuorepainon ja kuivapainon välinen riippuvuus.
Fig. 5. Correlation between the green and dry weight of chips.



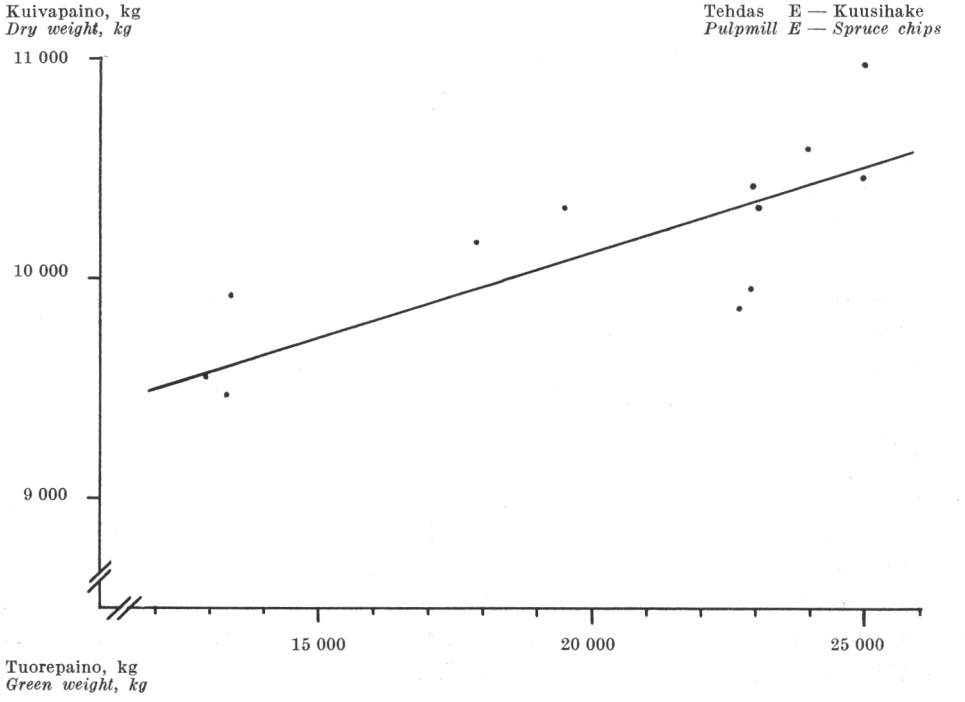
Kuva 6. Hakekuormien tuorepainon ja kuivapainon välinen riippuvuus.
Fig. 6. Correlation between the green and dry weight of chips.



Kuva 7. Hakekuormien tuorepainon ja kuivapainon välinen riippuvuus.
Fig. 7. Correlation between the green and dry weight of chips.



Kuva 8. Hakekuormien tuorepainon ja kuivapainon välinen riippuvuus.
Fig. 8. Correlation between the green and dry weight of chips.



kuvasti mitattu kuormien kuivapainoja, vaikka kosteusnäytteiden ottomenetelmä onkin jo kehitetty (Nisula 1961).

Tehtaan kannalta olisi kuitenkin merkityksellistä tietää paljonko puuta kukin kuorma todellisuudessa sisältää. Kuvissa 5, 6, 7 ja 8 on pyritty suppeahkosta aineistosta huolimatta esittämään, mikä on eräillä sellutehtailla tuoretta hakekuormaa vastaava kuiva-ainemäärä kiloina ilmaistuna. Piirrokset antanevat kuvan siitä, mikä on kyseisissä olosuhteissa kustakin hakekuormasta saatava puumäärä.

Tehdas	Hakelaji	Sahoja, kpl	Regressioyhtälö	r	s
Tehdas B	Kuusihake	2	Y = 418.4 + 0.3423 x	0.849	89.1
» C	Kuusihake	5	Y = 187.0 + 0.4557 x	0.986	255.1
» D	Mäntyhake	4	Y = 102.4 + 0.4566 x	0.996	78.2
» E	Kuusihake	3	Y = 8 726.0 + 0.0716 x	0.769	291.0

Kaavassa x = hakekuorman tuorepaino, kg ja Y = hakekuorman kuivapaino (puuta, kg).

332. Hakkeen puuaineen tiheys

Puuaineen tiheys vaihtelee riippuen siitä, miltä maantieteelliseltä alueelta tai millaiselta kasvupaikalta raaka-aine on hankittu. Hakkila (1967) on laskenut Etelä- ja Pohjois-Suomen mäntypaperipuun kuivapainojen eroksi 5.5 % kun rajana on 66. leveysaste. Kyseinen tutkimus koskee siis vain paperipuuta, eivätkä erot pienemmillä maantieteellisillä alueilla ole läheskään näin suuria, mutta alueittaisia vaihteluita puun painossa kuitenkin esiintyy.

Metsiköitten välisiä painoeroja puuaineessa aiheuttavat monet ulkoiset ja ympäristöstä johtuvat tekijät kuten puun ikä, kasvunopeus, metsikön rakenne kasvupaikan laatu sekä geneettiset tekijät. Hakkeessa aiheutuu painon vaihtelua myös tasauspätkien ja pintojen suhteen muutoksista. Sahanhake on peräisin enimmäkseen vanhoista ja järeistä rungoista sekä niiden tyvipään pintaosista. Mm. Hakkilan (1966 ja 1967) tutkimusten mukaan on todettu mäntyrungossa määrätyllä korkeudella kambiumin läheisen puun ominaisuuksia olevan korkeampi kesäpuuprosentti, paksummat solunseinät ja näinollen korkeampi puuaineen tiheys kuin mäntypuussa keskimäärin. Kuusella rungon säteensuuntaiset erot ovat paljon epäselvemmät. Rungon pituussuuntaiset muutokset osoittavat samoin männyllä selvää ja kuusella paljon epäselvempää puuaineen tiheyden nousua siirryttäessä rungossa latvasta tyveen päin.

Taulukko 9. Hakkeen puuaineen tiheys (kg/k-m³) hakelajeittain.
Table 9. Wood density of chips (kg./solid cu.m.) by kinds of chips.

Hakelaji — *Kind of chips*	Puuaineen tiheys kg/k-m³ *Wood density, kg./solid cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*
Mäntyhake — *Pine chips*	427.8	11.83	44
Kuusihake — *Spruce chips*	393.0	13.48	85
Sekahake — *Mixed chips*	409.5	16.34	18
Keskimäärin — *Average*	405.4	20.39	—

Taulukko 10. Hakkeen puuaineen tiheys (kg/k-m³) tehtaattain.
Table 10. Wood density of chips (kg./solid cu.m.) by pulp mills.

Tehdas — *Pulp mill*	Puuaineen tiheys kg/k-m³ *Wood density, kg./solid cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*
	Mäntyhake — *Pine chips*		
A	432.3	11.78	16
C	420.5	16.40	6
D	426.6	9.57	22
	Kuusihake — *Spruce chips*		
A	394.7	6.50	6
B	392.4	16.58	37
C	394.1	12.90	19
D	386.4	10.14	10
E	397.5	7.11	24

Käsillä olevassa tutkimuksessa saatiin puuaineen tiheydeksi mänty-hakkeelle 427.8 ja kuusihakkeelle 393.0 kg/k-m³ (taulukko 9). Taulukossa 10 tulokset on esitetty tehtaattain. H a k k i l a n (1966) mukaan mänty- ja kuusisahanhakkeen puuaineen tiheydet olivat 441 ja 379 kg/k-m³. Tavallisen mäntypinotavaran painoksi sensijaan saatiin vain 417 kg/k-m³. Mänty-hakkeen paino on jonkinverran suurempi kuin käsilläolevassa tutkimuksessa, koska siinä ei ole mukana tasauspätkiä, jotka pudottavat painoa. Kyseisten kahden tutkimuksen lukuja verrattaessa on myös otettava huomioon, että tässä tutkimuksessa on puhtaana mänty- tai kuusihakkeena pidetyn hakkeen joukossa voinut olla joissakin tapauksissa toista puulajia. Nämä seikat huomioonottaen puuaineen tiheydet kyseisissä kahdessa tutkimuksessa ovat hyvin samankaltaiset. Myös voidaan panna merkille, että sekahakkeen kohdalla päästään kummassakin tutkimuksessa samaan arvoon 410 kg/k-m³.

34. Hakkeen tuorepaino ja kosteus

Hakkeen tuorepaino riippuu suureksi osaksi hakepalojen sisältämästä vesimäärästä. Kasvavan puun kosteuteen vaikuttavat ennenkaikkea vuo-

denaika, rungon eri osien korkeus sekä vaihtelu sydänpuun ja pintapuun välillä. Pintapuun ja sydänpuun kosteutena esittää Tapion Taskukirja (1965) seuraavat luvut:

	Pintapuu, %	Sydänpuu, %
Mänty	133	31
Kuusi	146	33

Sahanhakkeen kosteuteen vaikuttaa etupäässä tukkien varastoimisaika- ja tapa (vesi- tai maavarastointi), tukkien kuorimisen ja jätteiden hakettamisen välinen aika sekä hakkeen varastoimisaika.

Taulukko 11. Tuoreen hakkeen painon (kg/i-m³) riippuvuus tukkien varastoimistavasta kuljetuksen jälkeen.
Table 11. Dependence of the weight (kg./loose cu.m.) of green chips on the manner of storing logs after transportation.

Hakelaji *Kind of chips*	Tukit vesivarastossa *Logs stored in water*			Tukit vesi-maavarastossa *Logs storet in water and on land*			Tukit maavarastossa *Logs stored on land*		
	Paino, kg/i-m³ *Weight, kg./loose cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Paino, kg/i-m³ *Weight, kg./loose cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Paino, kg/i-m³ *Weight, kg./loose cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*
Mäntyhake — *Pine chips*	—	—	—	401.9	15.89	16	347.2	13.60	30
Kuusihake — *Spruce chips*	394.7	8.87	41	352.1	11.32	14	311.0	41.96	31
Sekahake — *Mixed chips*	393.6	17.12	6	—	—	—	331.9	14.08	14

Taulukosta 11 nähdään tuoreen hakkeen paino puulajeittain ennen ja jälkeen kuljetuksen sekä painon riippuvuus tukkien varastoimistavasta. Vesi- maa-varastoimisnimitystä on käytetty kun tukit ovat menneet sahaukseen vesialtaan kautta, mutta eivät kuitenkaan ole viipyneet vedessä 2—3 viikkoa kauempaa, tai kun osa raaka-aineesta on ollut vesivarastoitua ja osa maavarastoitua puuta.

Erot eri tavoin varastoiduista tukeista tehdyn hakkeen painossa näyttävät olevan huomattavat. Männyllä osittain vesivarastoidusta ja osittain maavarastoidusta sekä toisaalta maavarastoidusta puusta tehdyn hakkeen painoero on keskimäärin 55 kg/i-m³. Maavarastoiduista tukeista tehdyn kuusihakkeen paino taas on keskimäärin 84 kg/i-m³ eli n. 21 % alhaisempi kuin vesivarastoidusta raaka-aineesta valmistetun hakkeen paino. Tuoreen hakkeen painosta puhuttaessa tai painoa arvioitaessa olisi siten aina tunnettava kyseessä oleva puulaji ja hakkeen kosteus.

Käsikirjoissa suositellaan tuoreen hakkeen painoksi seuraavia lukuja:

Hake, kosteus n. 120 %, 350 kg/i-m³
Hake, kosteus n. 100 %, 250—340 kg/i-m³ (Tapion Taskukirja 1965)
Sahanhake 400 kg/i-m³ (Mekaaninen Puuteollisuus I 1964)

Hakkeen painolla on merkitystä mm. kuljetusten kannalta. Hakkeen kuljetusta koskevissa määräyksissä on hakkeen tuorepainoksi laskettu 265 kg/m³ (I s o m ä k i 1964).

Taulukossa 12 esitetään mänty-, kuusi- ja sekahakkeen paino ennen ja jälkeen kuljetuksen ja taulukossa 13 paino hakelajeittain eri tehtailla. Vaikka tuntuisikin luonnolliselta, että sekahakkeen paino asettuisi mänty-

Taulukko 12. Tuoreen hakkeen paino (kg/i-m³) hakelajeittain ennen ja jälkeen kuljetuksen.
Table 12. Weight of dry chips (kg./loose cu.m.) by kinds of chips before and after transportation.

Hakelaji *Kind of chips*	Paino lähtiessä, kg/i-m³ *Weight at sawmill, kg./loose cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Paino, perillä, kg/i-m³ *Weight at receiving plant, kg./loose cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*
Mäntyhake — *Pine chips*	354.7	25.61	43	366.2	29.98	46
Kuusihake — *Spruce chips*	336.5	44.78	80	357.6	54.57	86
Sekahake — *Mixed chips*	326.3	23.26	16	350.4	32.45	20

Taulukko 13. Tuoreen hakkeen paino (kg/i-m³) hakelajeittain eri tehtailla.
Table 13. Weight of green chips (kg./loose cu.m.) by kinds of chips and pulp mills.

Tehdas *Pulp mill*	Ennen kuljetusta *Before transportation*			Kuljetuksen jälkeen *After transportation*		
	Hakkeen paino, kg/i-m³ *Weight of chips, kg./loose cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Hakkeen paino, kg/i-m³ *Weight of chips, kg./loose cu.m.*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*
			Mäntyhake — *Pine chips*			
A	394.3	37.82	16	401.0	16.68	13
C	323.4	17.78	6	340.9	12.90	6
D	335.4	14.10	23	348.7	13.59	24
			Kuusihake — *Spruce chips*			
A	339.6	19.69	4	356.8	22.61	4
B	375.1	8.69	35	395.7	8.64	34
C	304.0	18.18	20	321.8	18.82	20
D	322.0	12.60	10	338.8	16.41	10
E	292.5	67.44	12	308.3	70.19	12
			Sekahake — *Mixed chips*			
B	—	—	—	393.6	17.16	6
C	325.0	19.89	6	340.5	16.29	6
D	318.6	9.14	7	326.8	7.95	7

ja kuusihakkeen painojen väliin, se on kuitenkin jäänyt kaikkein alhaisimmaksi, koska suuri osa kuormista koostui tavallista kuivemmasta hakkeesta. Kuljetuksen aikana tapahtuu irtokuutiometriä kohti painonlisäys, joka on mäntyhakkeella keskimäärin 3.0 %, kuusihakkeella 5.9 % ja sekahakkeella 6.9 % tehtaalle kuljetuksen jälkeen mitatusta painoarvosta. Tämä haketiheydestä johtuva painon kasvu i-m³ kohti on tietenkin keskimäärin sitä suurempi, mitä pitemmästä kuljetusmatkasta on kysymys.

Sahanhakkeen painosta ei ole saatavissa paljon tietoja kirjallisuudessa. O. Wurz ja E. Wurz (1955) ilmoittavat ilmakuivan kuusisahanhakkeen painoksi 280—300 kg/i-m³. Nylinder (1958) on saanut sahanhakkeen tuorepainoksi männylle 360—365 kg/i-m³ ja kuuselle 330 kg/i-m³. Mainittakoon että samassa tutkimuksessa kuorellisen seulomattoman mäntyhakkeen paino oli 387 kg/i-m³. Kuoriaines sekä hakkeen joukossa olevat isot puukappaleet ovat siis lisänneet painoa. Taipale (1960) mainitsee kuivahtaneista sahanrimoista lastutetun hakkeen painoksi 259 kg/i-m³. Heiskasen (1963 b) tutkimuksessa sekahakekuormat painoivat 311 ja 335 kg/i-m³.

Taulukko 14. Tuoreen hakkeen kosteuden riippuvuus tukkien varastoimistavasta.
Table 14. Dependence of the moisture content of green chips on the manner of storing the logs.

Varastoimistapa *Manner of storage*	Kosteus tuorepainosta, % *Moisture content of green weight, pct.*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Kosteus kuivapainosta, % *Moisture content of dry weight, pct.*	Hajonta *Dispersion*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Vaihtelurajat *Range of variation*
Vesivarasto — *Water storage*	60.4	1.52	52	153.0	9.46	52	129.5—173.5
Vesi-maavarasto — *Waterland storage*	56.4	1.38	38	130.1	7.28	38	113.2—144.7
Maavarasto — *Land storage*	50.4	7.32	103	104.0	20.43	103	29.5—140.3

Tuoreen hakkeen kosteudet tukkien varastoimistavan perusteella jaoiteltuina ilmenevät taulukosta 14. Puulajeittaista jakoa ei ole tehty, koska tämän seikan on katsottu vaikuttavan asiaan erittäin vähän. Kuivimman hakeaineiston käsittävät tukit olivat olleet kuorimisen jälkeen maavarastossa noin 3 viikkoa, kun taas kostein hake oli valmistettu puusta, jota oli pidetty vesivarastossa useita kuukausia. Tästä syystä erot sekä hakkeen painossa että kosteudessa muodostuvat suuriksi.

Vesivarastoimisajan pidentyminen luonnollisesti nostaa kosteutta. Lindahl (1949) on saanut eräissä kokeissa pitemmän aikaa vedessä maanneesta sahatavarasta valmistetun hakkeen kosteudeksi 154.1 %, joka on yhtäpitävä käsillä olevassa tutkimuksessa saadun tuloksen kanssa. Nylinder (1958) ilmoittaa samanlaisen juuri ennen sahausta kuorituista tukeista tehdyn hakkeen kosteudeksi 123.4 % sekä maalla varastoidusta

männystä ja kuusesta tehdyn hakkeen kosteudeksi 113.1 %. Thunellin ja Thalenin (1961) tutkimuksessa hakkeen kosteus vaihteli 102—143 %, ja vuoden 1962 tutkimuksissa keskiarvo oli 125 %. Siimeksen (1959) tutkimuksessa sahausjätteestä tehdyn hakkeen kosteus oli 105 %. Eräs kanadalainen yhtiö on tutkimuksissaan saanut kuusihakkeen kosteudeksi 133 % kun sahattiin vedestä nostettuja tukkeja, ja erään toisen yhtiön kokeissa kosteus oli 64 % kun tukit sahattiin vuosi kaadon jälkeen (Bell 1953). Taipale (1960) mainitsee kuivahtaneista rimoista tehdyn hakkeen kosteudeksi 30—49 % kuivapainosta laskettuna (23—33 % tuorepainosta laskien). Heiskasen (1963 a) tutkimuksessa sahausjätteistä tehdyn keskuslämmityshakkeen kosteus oli 56 %. Mainittakoon, että Hakkila (1963) sai rasipuista tehtyjen mäntypölkkyjen kosteudeksi 65 vuorokauden uiton jälkeen 89 ja 122 % kaatokuukausista riippuen kosteuden oltua edellisenä syksynä 51 ja 89 %.

Paitsi kuljetusten ja käsittelyn kannalta hakkeen kosteudella on vaikutusta hakkurin terien kuntoon, haketuksessa syntyviin vaurioihin ja sen kautta valmistettavan massan laatuun. Mitä alhaisempi on hakkeen kosteus sen suurempi on suhde hakepalojen pituuden ja paksuuden välillä ja sen pienempiä ovat hakevauriot (Hartler 1963). Kuiva puu on niinmuodoin edullista hakepalojen laadun kannalta. Sanyer, Keller ja Martin (1961) toteavat sahanhakkeessa hakkurin puulle ja solun seinille aiheuttaman mekaanisen vahingon olevan suuremman kuin tavallisen hakkeen ollessa kysymyksessä. Sensijaan kuivasta puusta saadaan huomattavasti huonompaa ja tikkuisempaa massaa kuin kosteasta. Jensen (1967) mainitseekin, että puun kosteuden olisi haketuksessa oltava vähintään 32 % eli noustava yli kuitujen kyllästymispisteen. Holekamp'in (1955) mukaan monilla Amerikan länsirannikon sellutehtailla kuuluu hakkeen laatuvaatimuksiin, että hakkeen kosteus on 50 ± 5 %. Sim (1954) sanoo kuidun saannon painoyksikköä kohti olevan suurin kun hake on tehty vasta kaadetusta puusta.

4. TIIVISTELMÄ

Pyrittäessä selvittämään sahanhakkeen arvoa sellun raaka-aineena on tunnettava eräitä hakkeen laatutekijöitä ja ominaisuuksia. Näistä tekijöistä on esillä olevassa tutkimuksessa pyritty selvittelemään männyn ja kuusen sahausjätteestä valmistetun hakkeen painoa, hake- ja puuainetiheyttä sekä näihin käsitteisiin läheisesti liittyvinä sahanhakkeen kosteutta ja hakekuorman painumaa.

Tutkimus on rajoitettu Suomen eteläosaa koskevaksi, koska sahanhakkeen käytännöllinen merkitys on tällä alueella suurin. Samalla on voitu vähentää maantieteellisen vaihtelun vaikutusta tuloksiin.

Tutkimusaineisto kerättiin mittaamalla ja punnitsemalla hake autokuormina eräillä Etelä-Suomen sellutehtailla (sivu 13). Punnitusten ja tilavuusmittausten perusteella voitiin laskea hakeirtokuutiometrin paino. Hakkeen kuivapainon selvittämiseksi kustakin kuormasta otettiin viisi litran hake-erää sekä kuormasta että purkauksen edistyessä. Näin saadusta näytteestä eroitettiin sekoituksen jälkeen litran erä lopulliseksi kosteusnäytteeksi, joka punnittiin tehtaalla tuoreena sekä myöhemmin laboratoriossa absoluuttisen kuivana. Samoista hakenäytteistä määritettiin puuaineen tiheys hydrostaattisen punnituksen avulla.

Kunkin sahan hakkeesta tehtiin seulontakokeita palakokojakautuman selvittämiseksi (vrt. sivu 14).

Tutkimusaineisto käsitti yhteensä 220 mitattua hakekuormaa, joista 62 mänty-, 112 kuusi- ja 46 havusekahaketta (taulukko 1). Punnittuja kuormia oli 161 kpl ja punnitsemattomia 47 kpl, joista jälkimmäisistä tehtiin painuma- ja kosteusmittauksia.

Käytännön kannalta tärkeimmät tutkimustulokset olivat seuraavat.

1. Kuljetuksen aikana tapahtuvaan hakekuorman painumaan vaikuttavat useat eri tekijät, pääasiassa kuljetustapa, kuljetusmatka, tien laatu sekä hakkeen ominaisuudet. Kuljetettaessa haketta autolla havaittiin, että erillisen perävaunun kohdalla vajoama poikkeaa tavallisen lavan painumasta (kuva 1).

Tavallisen vetovaunun lavan ollessa kyseessä suurin osa kuljetetun hakekuorman vajoamasta tapahtuu keskimäärin ensimmäisten 40 km:n aikana, jonka jälkeen painuma on verrattain vähäistä. Perävaunun kohdalla taas painumaa tapahtuu verrattain tasaisesti koko kuljetusmatkan

ajan. Vetovaunun ja perävaunun painumien keskiarvot olivat 4.0 % ja 6.6 %. Eri kuljetusmatkoilla muodostuivat keskimääräiset painumat seuraaviksi:

Kuljetusmatka, km	Painuma, %
1—15	3.8
16—40	5.0
40+	5.3

2. Hakkeen tiheydellä tarkoitetaan yhden irtokuutiometrin sisältämää puumäärää k-m³/i-m³. Haketiheys riippuu mm. hakkurista, hakkeen lastaustavasta sekä kuljetusmatkan pituudesta. Hakekuorman tiheys kuljetuksen jälkeen on keskimäärin sitä suurempi mitä huomattavampi on kuorman painuma (vrt. kuva 2). Suuri painuma ei kuitenkaan aina edellytä suurta haketiheyttä, koska esim. kuiva hake voi kuormattaessa jäädä tavallista löyhemmäksi ja saavuttaa kuljetuksen aikana ainoastaan normaalin tiheyden. Kuljetusmatkalla 1—40 km saatiin keskimääräiseksi tiheydeksi 0.389 k-m³/i-m³ ja kuljetusmatkalla yli 40 km 0.398 k-m³/i-m³.

Puulajilla ei näytä olevan sanottavaa vaikutusta haketiheyteen. Saadut keskiarvot olivat sahalla 0.378 männylle, 0.372 kuuselle ja 0.371 sekahakkeelle keskiarvon ollessa 0.374 k-m³/i-m³. Vastaanottomittauksen mukaiset keskiarvot olivat vastaavasti 0.396, 0.392 ja 0.386 ja koko aineiston keskiarvo 0.393 k-m³/i-m³ (vrt. taulukko 4).

3. Hakeirtokuutiometrin kuivapainoon vaikuttavat haketiheys sekä puuaineen paino. Hakkeen kuivapaino on sitä suurempi mitä tiiviimmin hake on pakkautunut, ja täten on hakkeen kuivapaino välillisesti sidottu samoihin tekijöihin, jotka määräävät haketiheyden suuruuden. Hakkeen tiheyttä ja kuivapainoja kuvaavia lukuja ilmoitettaessa on siksi aina ilmoitettava mittauspaikka sekä kyseessä oleva puulaji.

Kuivapainot olivat mänty-, kuusi ja sekahakkeella 161.6, 145.9 ja 153.3 kg/i-m³ ennen kuljetusta sekä 169.5, 154.2 ja 159.8 kg/i-m³ kuljetuksen jälkeen (vrt. taulukko 7).

4. Puuaineen tiheydessä aiheuttavat vaihtelua mm. puulaji, maantieteellinen alue, kasvupaikka, metsikön ikä sekä tyvi- ja latvatavaran väliset painoerot. Sahanhakkeessa aiheutuu painon vaihtelua myös tasauspätkien ja pintojen suhteen muutoksista, sillä etenkin männyllä puuaineen tiheys rungossa kasvaa ytimestä pintaan päin. Hakkeen puuaineen tiheydeksi saatiin 427.8 kg/m³ männylle, 393.0 kg/m³ kuuselle sekä 409.5 kg/m³ sekahakkeelle (vrt. taulukko 9).

5. Kasvavan puun kosteus riippuu etupäässä vuodenajasta sekä kosteuden vaihtelusta sydänpuun ja pintapuun välillä. Sahanhakkeen kosteuteen vaikuttavat ennenkaikkea tukkien varastoimisaika- ja tapa (vesi- tai maa-

varastointi), tukkien kuorimisen ja jätteiden hakettamisen välinen aika sekä hakkeen varastoimisaika. Esim. maavarastoidusta raaka-aineesta valmistetun kuusihakkeen paino oli keskimäärin 84 kg/i-m³ eli noin 21 % alhaisempi kuin vesivarastoiduista tukeista tehdyn hakkeen paino (vrt. taulukko 11). Tuoreen mäntyhakkeen paino oli keskimäärin 366.2 kg/i-m³ ja kuusihakkeen 357.6 kg/i-m³ perille kuljetettuna (taulukko 12).

Varastoimistapansa puolesta hakkeen raaka-aine jaettiin kolmeen ryhmään: vesivarastoidut, maavarastoidut sekä osittain maa- osittain vesivarastoidut tukit. Kosteudet näissä ryhmissä olivat 60.4, 50.4 ja 56.4 % tuorepainosta sekä 153.0, 104.0 ja 130.1 % kuivapainosta laskien (vrt. taulukko 14).

Kirjallisuutta

Alm, A. A., Järvelä, O., Peltonen, J. ja Virkola, N - E. 1962. Sahanhake kemiallisen massan raaka-aineena. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisuja 144.

Appelroth, S - E. 1964. Määrämittaisten polttohakerankojen mittaamisesta roukku- ja varastopinoissa. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 58.6. Helsinki.

Beijbom, Lars. 1959. Hakkeen hankinta ja poltto. Suomennos Skogen-lehdessä n:ot 2 ja 3, 1959 olleista kirjoituksista. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisuja 76.

Bell, G. E. 1953. The use of sawmill waste for pulp. Canada Department of Resources and Development. Forestry branch bulletin 108.

Bentley, O. W. 1960. Setting chip standards. Paper Mill News 83: 33.

Colombo, P., Corbetta, D., Pirotta, A, and Ruffini, G. 1964. The influence of thickness of chips on pulp properties in kraft cooking. Svensk Papperstidning 67: 12.

Edling, G. och Nordström, B. 1958. Redogörelse för prov med fliseldning vid I 15, Borås 1956—58. Mellersta och Norra Sveriges Ångpanneförening. Ångtekniska avdelningen. Moniste.

Feiner, J. H. and Gallay, W. 1962. The effect of chip thickness on sulphite pulp yield and quality. Pulp and paper magazine of Canada 63: 9.

Föreningen Värmlands Skogsarbetsstudier. 1958. Lastbilstransport av träflis P. M. 302/7. 10. 1958.

Hakkila, Pentti. 1963. Rasiin kaadetuista polttohakepuista tehtyjen nippujen uittamismahdollisuuksista. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 58.3. Helsinki.

—»— 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 61.5. Helsinki.

—»— 1967. Mäntypaperipuun kuivapaino Suomen eri osissa. Erip. Paperi ja Puu n:osta 11. 1967. Helsinki.

Hartler, N. 1963. Some studies on the quality of chips for pulp production. Svensk Papperstidning 66: 18.

Heiskanen, Veijo. 1961. Siirrettävät ja puolisiirrettävät hakkurit I. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisuja 124.

—»— 1962 a. Tutkimuksia siirrettävillä hakkureilla valmistetun hakkeen ominaisuuksista. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisuja 134.

—»— 1962 b. Hakkurityypin ja raaka-aineen laadun vaikutus hakkeen ominaisuuksiin. Pienpuualan Toimikunnan Tiedotuksia 68.

—»— 1963 a. Kosteuden vaihtelut kenttähakkureilla lastutetuissa hakekuormissa. Pienpuualan Toimikunnan Tiedotuksia 80.

—»— 1963 b. Mittalaatikon suuruuden vaikutus hakkeen irtokuutiometripainoon. Autokuormamittauksen ja laatikkomittauksen vertailua. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisuja 149.

—»— 1966. Laskelma mänty- ja kuusisahatukkien järeyden mukaisista arvosuhteista ja arvoeroista. Etelä-Suomi. Suomen Sahanomistajayhdistys. Moniste.

Holekamp, J. A. 1955. Pulp chips from sawmill leftovers. Paper Industry 37: 8.
Isomäki, Olavi. 1964. Sahanhakkeen kuljetus vuonna 1963. Pienpuualan Toimikunnan Tiedotuksia 118.
—»— 1965. Sahanhakkeen teko kannattaa. Tehostaja n:o 4. Helsinki.
—»— 1966. Tutkimus sahanhakkeen laatuun, saantoon ja kustannuksiin vaikuttavista tekijöistä. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 62.4. Helsinki.
—»— 1968. Tutkimuksia sahanhakkeen tiheydestä. Käsikirjoitus.
Iwanow, I. and Märker, B. 1958. Einfluss der Schnitzelgrösse bei der Herstellung von Zellstoff nach dem Sulfatverfahren. Zellstoff und Papier 7: 6.
Jalava, Matti. 1952. Puun rakenne ja ominaisuudet. Helsinki.
Jensen, Waldemar. 1967. Puukemia I. Helsinki.
—»— , Aarnio, Alm A. ja Virkola N-E. 1963. Bisulphite pulping with saw-waste chips. Paperi ja Puu n:o 10. Helsinki.
Juvonen, Kauko. 1967. Sahausraon ja sahatavaran ylimitan vaikutus sahaustulokseen. Tietokonetutkimus. Paperi ja Puu n:o 10. Helsinki.
Jäntti, A. 1962. Hakkeen kuljetus sekä kuljetuksen aikana syntyvän vajoaman vaikutus hakkeen mitattavaan määrään. Pienpuualan Toimikunnan Tiedotuksia 59.
Lindahl, E. 1949. Undersökning angående fastmassan i sulfathack. Skogen 106.
Luomi, Martti. 1959. Tutkimus Pöttinger- ja Fitchburg-hakkureilla valmistetun hakkeen ominaisuuksista. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisuja 85.
Mekaaninen Puuteollisuus I. 1964. Joensuu.
Melo, S. R. and Madsen, P. E. 1966. Pulps from sawmill waste and thinnings. Tappi 49: 9.
Nisula, Pentti. 1960. Paino pinotavaran ja hakkeen mittana. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisuja 114.
—»— 1961. Polttohakkeen kuivapitoisuuden määrittäminen painomittausta käytettäessä. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisuja 131.
Nylinder, Per. 1958. Fastmasseprocenter hos boardved, ribb och bakar samt flis. Kungliga Skogshögskolan. Institut för Virkeslära. Upps. Nr. 116. Stockholm.
Rautio, R. 1965. Hakkeen laatu käyttäjän kannalta ja sahojen hakkeen merkitys. Sahamies n:o 3.
Sanyer, N., Keller, E. L. and Martin, J. S. 1961. Bisulphite and kraft pulping of saw chips from Douglasfir and southern pine. Tappi 44: 8.
Siimes, F. E. 1962. Sahausjätteen ja pienpuun määrät ja ominaisuudet. Paperi ja Puu n:o 2. Helsinki.
Siimes, F. E. ja Liiri, Osmo. 1959. Pienpuu kuitulevyn raaka-aineena. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisuja 71.
Sim, Ian. P. 1954. Chip requirements from the pulp mills standpoint. Journal of the Forest Products Research Society 4: 4.
Skogsstyrelsens Bränsleflisundersökning. 1966.
Taipale, Arvo. 1960. Tutkimuksia sahanrimojen lastutuksesta. Pienpuualan Toimikunnan Tiedotuksia 32.
—»— 1961. Polttohakkeen ja polttohakepuun mittauksesta. Pienpuualan Toimikunnan Tiedotuksia 54.
—»— 1962. Tutkimuksia Karhula 312-kenttähakkurin hakesaannosta ja hakkeen ominaisuuksista koivuhalkoa lastutettaessa. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisuja 136.
Tapion taskukirja 1965. Viidestoista painos. Helsinki.

Thunell, B. 1952. Sågverksindustrins virkesutnyttjing. Svenska Träforskningsinstitutet. Trätekniska Avdelningen. Medd. 32 B.

—»— och Thalen, N. 1961. Mätning av relativ fastvolym, torrhalt, volymvikt mm. hos träflis. Trätekniska Centrallaboratoriet. Intern rapport nr 610823/6/150.

—»— 1962. Mängdmätning av träflis. Trätekniska Centrallaboratoriet. Meddelande nr 3.

Vilkki, Matti. 1959. Tutkimuksia Hake M 7 A -hakkurilla mäntyohutpuusta valmistetun selluloosahakkeen ominaisuuksista. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisuja 86.

Worster, H. and Sugiyama, B. K. 1963. Comparative kraft pulping of sawmill and pulp mill chips. Pulp and paper magazine of Canada 63: 6.

Wurz, O. and Wurz, E. 1955. Sägeabfallholzverwertung in der Sulfitzellstoffindustrie. Das Papier 8: 23/24.

ON DENSITY AND WEIGHT OF SAWMILL CHIPS

Summary

To establish the value of sawmill chips as a raw material of the pulp industry one must know certain properties of the chips. The present paper deals with some of these: namely, the moisture centent, the settling during transportation, the weight of a unit volume as well as the chip and wood density.

The study was carried out by weighing and measuring truckloads of chips delivered from sawmills at certain pulp mills in southern Finland. Data were obtained from a total of 220 truckloads of chips, 62 of which were pine chips, 112 spruce, and 46 mixed softwood chips. The most important results from a practical view were as follows:

1. The main part of settling of chips takes place, on an average, during the first 40 km. of transportation. Thereafter settling is relatively small (Fig. 1). The average settling was 4.0 per cent for chips loaded on to trucks and 6.6 % for chips loaded on to trailers.

2. Chip density refers to the volume of wood in one cubic meter of chips and is expressed as solid cubic meters per loose cubic meters. The density of chips depends on the chipper, the method employed in loading, the distance of transportation, etc. The average figure obtained at the sawmills were 0.378 for pine, 0.372 for spruce, and 0.371 for mixed chips as well as 0.374 for the total material studied. Corresponding averages obtained at the receiving plants were 0.396, 0.392, and 0.386 as well as 0.393 for the whole material (Table 4).

3. The dry weight of a cubic meter of chips is influenced both by the chip density and the wood density. For pine, spruce, and mixed chips the dry weights were 161.6, 145.9, and 153.9 kg./cu.m. loose measure before and 169.5, 154.2, and 159.8 kg./cu.m. loose measure after transportation (Table 7).

4. Variation in the wood density may be due to geographical location, tree species, site, stand age, and differences between the weight of butt and top wood. The wood density obtained for sawmill chips was 427.8 kg./cu.m. for pine, 393.0 kg./cu.m. for spruce, and 409.5 kg./cu.m. for mixed chips (Table 9).

5. The moisture content of green wood mainly depends on the season and the percentages of heartwood and sapwood. The moisture content of sawmill chips is particularly influenced by the storage time and method (storage in water or on land), the length of the time between barking the logs and chipping the slabs, and the length of the time for which the chips have been stored. For example, spruce chips from logs stored on land were, on an average, 84 kg./cu.m. loose measure, or 21 per cent, lighter than chips made from raw material that had been stored in water (Table 11). The weight of green pine chips averaged 366.2 kg./cu.m. loose measure and that of spruce chips 357.6 kg./cu.m. loose measure at the pulp mill (Table 12).

The moisture content of chips made from logs stored in water and on land as well as logs that had been put in water before sawing averaged 153.0, 104.0, and 130.1 per cent of the dry weight (Table 14).

TUTKIMUKSIA MÄNNYN UUDISTAMISESTA POHJOIS-SUOMESSA SIEMENPUU- JA SUOJUSPUUMENETELMÄLLÄ

JAAKKO LEHTO

STUDIES CONDUCTED IN NORTHERN FINLAND ON THE REGENERATION OF SCOTS PINE BY MEANS OF THE SEED TREE AND SHELTERWOOD METHODS

SUMMARY

HELSINKI 1969

Helsinki 1970. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Tämä tutkimus on jatkoa tekijän aikaisemmin julkaisemille selvityksille männyn luontaisesta uudistamisesta Etelä-Suomen kangasmailla. Niihin se liittyy ensi sijassa alueellisena täydennyksenä. Jatkotutkimukset saattoi käyntiin metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosaston esimies, professori Risto Sarvas. Häneltä olen työn kestäessä saanut kaikkea tarvittavaa apua. Professori Paavo Juutinen ja maisteri Ukko Rummukainen ovat tutustuneet käsikirjoitusasteella teoksen taimistotuhoja koskevaan osaan.

Maastotöissä on suurimman taakan kantanut metsänhoitaja Kullervo Etholén, joka on myös huomattavalla tavalla osallistunut aineiston käsittelyyn. Hänen ansiostaan on tekijälle tarjoutunut mahdollisuus perehtyä aiheeseen liittyvään laajaan venäjänkieliseen lähdekirjallisuuteen. Kaikki esitetyt valokuvat ovat hänen ottamiaan.

Metsähallituksen ja Keskusmetsälautakunta Tapion viran- ja toimenhaltijain taholta on tutkimuksen suorittajille annettu huomattavaa tukea mm. tutkimuskohteiden etsinnässä, majoituksen saamisessa yms.

Työn eri vaiheissa ovat siihen osallistuneet metsänhoitaja Jaakko Heinämäki, metsänharjoittelijat Jouni Etholén ja Tauno Juutistenaho sekä rouva Kaisa Juutistenaho. Lyhennelmän on kääntänyt englanninkielelle rouva Marja Dethlefsen.

Kaikille yllä mainituille samoin kuin tilapäisemmin työn eteenpäin viemisessä avustaneille lausun parhaimmat kiitokseni.

Helsinki, 15. 12. 1968.

Jaakko Lehto

SISÄLLYS

Sivu

Johdanto 5

Tutkimusmenetelmät ja aineisto 10
- Tutkimusmenetelmät 10
- Tutkimusalue 14
- Tutkimusaineisto 15

Uudistamiskauden säät 20

Kasvupaikat 25
- Viljavuus 25
- Taimettumiskunto 28

Uudistusalojen puuston kehitys 35
- Puusto ennen uudistushakkuuta 35
- Siemenpuustot 41
  - Siemenpuiden lukumäärä 41
  - Ikä 45
  - Pituus 46
  - Latvuksen pituus 47
  - Siementuotanto 48
- Reunapuuston siemennys 53

Uudistusalojen taimistot 55
- Taimistojen kuvaaminen 55
- Taimien syntymisajankohta 60
- Taimistojen metsittämisarvo 65
- Uudistamistulos 69
- Siemenpuumenetelmän käyttökelpoisuus tutkimuskohteissa 82

Havaintoja taimistotuhoista ja hoitotoimenpiteiden viivästymisestä 84
- Tutkimusajanjaksona esiintyneet tuhot 85
- Ennen tutkimusajankohtaa esiintyneet tuhot 97

Tarkastelua 105

Kirjallisuusluettelo 122

English summary 133

JOHDANTO

Kangasmaiden männiköitä on meillä vanhastaan uudistettu siemenpuumenetelmää (aikaisempi nimitys siemenpuuhakkuu, vrt. Mikola 1956) käyttäen. Tällä 1800-luvulla meille Saksasta tulleella menetelmällä (saks. Samenschlag) ymmärretään metsän luontaista uudistamistapaa, jossa uudistusalan edellytetään siementyvän suhteellisen harvaan keskinäiseen asentoon (joskus ryhmittäin) jätetyistä siemenpuista. Näiden tulee olla elinvoimaisia, yleensä terveitä ja teknisesti hyvälaatuisia, ts. ainakin ilmiasultaan alkuperäisen puuston parhaita yksilöitä. Ellei metsikköä ole ennestään hoidettu säännöllisin harvennuksin, toimitetaan aluksi valmistushakkuu — tarvittaessa parikin — jonka tarkoituksena on antaa tuleville siemenpuille runsaammin tilaa, jotta näistä kehittyisi paremmin siementäviä ja myrskyä kestäviä. Samalla poistetaan sellaiset puulajit, joiden taimia ei uudistusalalle toivota. Kun jäljelle jätetty puusto on vapaammassa kasvutilassa voimistunut, se voidaan saattaa siemenpuuasentoon siemenpuu- eli siemennyshakkuulla. Jos metsikköä on hoidettu ennestään säännöllisin harvennuksin, suoritetaan sopivaksi katsotun uudistamisajankohdan tullessa suoraan siemenpuuasentoon johtava hakkuu. Kun ala on taimettunut, poistetaan siemenpuut, toisinaan kaikki kerrallaan, usein kahdessa, joskus kolmessakin vaiheessa. Hakkuuta, jossa kaikki jäljellä olevat siemenpuut poistetaan, sanotaan päätehakkuuksi.

Periaatteessa siemenpuumenetelmään kuuluu myös huolehtiminen siitä, että maan taimettumiskunto on olosuhteet huomioon ottaen riittävän hyvä. Täten siis edellytetään, että maanpinta valmistetaan esim. muokkaamalla, ellei se muuten tarjoa kyllin suotuisia olosuhteita siementen itämiselle ja taimien alkukehitykselle. Usein siemenpuumenetelmästä annetuissa ohjeissa kehoitetaan toimittamaan muokkauksen yhteydessä kylvö, koska tämä ei paljon lisää kustannuksia, jos huokeaa siementä on saatavissa. Mikäli kylvö ja siihen liittyvä luonnon siemennys johtaa välittömästi hyvään tulokseen, voidaan päätehakkuu toimittaa verraten pian. Jos taas taimettuminen on kylvöstä huolimatta vaillinaista, jäädään odottamaan täydennystä luonnon siemennyksestä. Taimiaineksen syntymistä voidaan jouduttaa toisinaan myös maan vesitalouden järjestelyllä, lannoittein ja muin toimenpitein. Tehostetussa muodossaan siemenpuumenetelmä on siis varsin voimaperäinen, viljelytoimenpiteitäkin käsittävä metsänuudistamistapa. Oleellisimpana sie-

menpuumenetelmässä pidetään kuitenkin siemenpuuasentoon johtavaa hakkuuta. Maanpinnan valmistamisen, kylvön ja niihin rinnastettavien toimenpiteiden tarkoituksenmukaisuus on taloudellisuusnäkökohtien nojalla usein asetettu kyseenalaiseksi (esim. Heikinheimo 1944, vrt. kuitenkin Nordström 1967).

Aika siemenpuuhakkuusta tyydyttävän taimiston ilmaantumiseen eli uudistamisaika on siemenpuumenetelmässä tarkoitettu enintään 5—10 vuoden pituiseksi. Yleensä tämä aika saa laajaperäisessä metsätaloudessa olla pitempi kuin voimaperäisessä (vrt. Heikinheimo 1948b). Kuten edellä on käynyt ilmi, on uudistumisajan pituus ihmisen toimenpitein jossakin määrin säädettävissä. Mitä voimaperäisemmästä metsätaloudesta on kysymys, sitä tehokkaampaa siemenpuumenetelmän muotoa voidaan yleensä soveltaa, joskin tällöin on tietysti tarjolla muitakin vaihtoehtoja, ennen kaikkea avohakkuu ja kylvö tai istutus.

Blomqvistin (1881) julkaistua siemenpuumenetelmän käytöstä meidän oloihimme soveltuvat seikkaperäiset ohjeet on menetelmä meillä ymmärretty pääpiirtein edellä esitetyllä tavalla. Samaan tapaan asia on esitetty Ruotsin ja Norjan metsänhoidon käsikirjoissa (vrt. Sarvas 1949, s. 6 ja siinä selostettu kirjallisuus). Myös Neuvosto-Karjalassa ja Kuolan niemimaalla on männyn uudistamiseen käytetty siemenpuumenetelmää periaatteessa samalla tavalla, paitsi että siemenpuut on siellä varsinkin viime aikoina jätetty yleisesti ryhmiin (esim. Repnevski 1961c).

Jätettävien siemenpuiden sopivin lukumäärä on meidän olojamme varten laadituissa eri ohjeissa jossakin määrin erilainen. Tavallisesti se vaihtelee 10 ja 100 välillä hehtaaria kohden (vrt. Mikola 1956), mutta useat kysymystä käsittelevät asiantuntijat ovat nimittäneet tiheämpiäkin uudistettavana olevia männiköitä siemenpuualoiksi (Cajander 1910, Heikinheimo 1944, L. Ilvessalo 1949, Sarvas 1949.) Milloin puusto on ollut taimettumisen alkaessa vielä verraten tiheä, ei nimitys siemenpuuasento ole ilmeisesti kuitenkaan tuntunut luontevalta. Myöhemmin on pyritty poistamaan kyseessä oleva terminologinen hankaluus ottamalla siemenpuumenetelmän rinnalle käsite suojuspuumenetelmä, jota jo aikaisemmin oli käytetty kuusikon uudistamisen yhteydessä. Tällöin siemenpuumenetelmällä *(seed-tree method)* tarkoitetaan Sarvaksen (1956, s. 528) mukaan uudistamistapaa, jossa yhdessä hakkuuvaiheessa (siemenpuuhakkuussa eli siemennyshakkuussa) poistetaan aikaisemmin vain kasvatushakkuilla käsitelty puusto lukuun ottamatta melko pientä määrää (n. 20—50 kpl/ha) siemenpuita. Taimisto (taimiaines) syntyy ainakin olennaiselta osaltaan vasta tämän hakkuun jälkeen verraten aukealle, suojaamattomalle alalle. Jos taimiainesta tai alikasvosta on riittävässä määrin jo ennen uudistamiseen tähtäävää hakkuuta, ei ole johdonmukaista puhua siemenpuumenetelmästä, sillä jäävien puiden tehtävänähän ei tällöin ole ainakaan

ensi sijaisesti uudistusalan siementäminen. Toisinaan vasta yksityiskohtainen maanpinnan tarkastaminen ratkaisee, onko kysymyksessä siemenpuumenetelmä.

Suojuspuumenetelmää *(shelterwood method)* käytettäessä aikaisemmin kasvatushakkuilla käsitelty puusto poistetaan kahdessa tai useammassa, tavallisesti 2—4 hakkuuvaiheessa. Näistä ensimmäistä, edelliseen verrattuna lievää hakkuuta, jonka tarkoituksena tavallisesti on luoda edellytykset taimiaineksen syntymiselle, nimitetään suojuspuu- eli taimettamishakkuuksi. Sen tuloksena saadaan suojuspuuasento. Olosuhteiden mukaan puustoa on tällöin jäljellä 300—400 kpl/ha eli sen verran kuin yleensä jätetään voimakkaassa väljennyshakkuussa, joskus huomattavasti vähemmänkin (vrt. Sarvas 1956), mutta selvästi enemmän kuin uuden määritelmän mukaisessa siemenpuuasennossa. Monesti väljennyshakkuu muodostuu samalla taimettamishakkuuksi. — Suunnilleen tähän tapaan määritellään siemenpuumenetelmä ja suojuspuumenetelmä myös useissa muissa maissa (esim. Smith 1962).

Suojuspuumenetelmässä taimiston siis edellytetään syntyvän alikasvoksena toisinaan verraten tiheän puuston alle. Uudistamiskauden loppuvaiheessa puusto saattaa tätäkin menetelmää käytettäessä olla siemenpuuasennossa (Mikola 1956), mutta kyseessä ei ole varsinainen siemenpuuala (Sarvas 1956). Joka tapauksessa monet yhteiset piirteet näiden kahden uudistamistavan välillä osoittavat, että niiden välinen ero on todellisuudessa varsin vähäinen ja ilmeisesti usein käytännön toiminnassa merkityksetön. Kuten tuonnempana käy selville, ei seuraavassa esityksessä ole yleensä voitu tätä tarkentavaa jakoa noudattaa, vaan nimitystä siemenpuumenetelmä käytetään sanan vanhassa, laajemmassa merkityksessä (vrt. Hagner 1962, s. 15).

Tutkimuksissa, joita meillä on julkaistu siemenpuumenetelmän (sanan laajemmassa merkityksessä) käyttökelpoisuudesta, on tehty se huomio, että vaikka tämän nimistä uudistamistapaa on käytetty yleisesti, ei säännönmukaisia siemenpuualoja ole tavattu paljon. Niinpä Enroth (1915) antaa tutkimiensa siemenpuualojen puuston laadusta melko kielteisen lausunnon. Sarvas (1949) löysi laajojen tiedustelujen tuloksena Etelä-Suomen kangasmailta vain 30 kelvollista siemenpuualaa, ja yksityiskohtainen tarkastelu osoittaa, että näissäkin on ollut puutteita mm. mitä tulee puuston käsittelyyn. Vain 22 siemenpuualaa oli sellaisilla mailla (kanervatyyppi ja puolukkatyyppi), joilla tämä menetelmä ensi sijaisesti tulee kysymykseen (mts. 36). Samantapaisen käsityksen siemenpuualojen puuston laadusta saa myöhemmistäkin tutkimuksista (Lehto 1956).

Puustoltaan hyvien siemenpuualojen harvinaisuus on helposti ymmärrettävissä esim. Sarvaksen (1944, s. 2—3) esittämän katsauksen pohjalla:

metsiemme aikaisempi käsittely on ollut niin laajalti määrämittaharsinnan luontoista, että alun perin toistuvin harvennuksin, parasta mäntypuustoa suosien käsitellyt metsiköt ovat jääneet poikkeuksiksi.

Kun näin ollen perusedellytykset siemenpuumenetelmän käytölle ainakin Etelä-Suomessa ovat olleet yleisesti huonot, voidaan odottaa, etteivät siemenpuuhakkuiden antamat tuloksetkaan ole olleet hyviä. Tämän otaksuman vahvistavat asiaa käsittelevät tutkimukset. Niinpä Enroth (1915) on arvioinut uudistamisen epäonnistuneeksi 55 %:lla tutkimistaan kanervatyypin uudistusaloista ja 43 %:lla puolukkatyypin uudistusaloista. Mainittakoon, että hän on hyväksynyt kuusen puolukkatyypin siemenpuualoilla metsittämisarvoltaan männyn veroiseksi, jonka takia mainittu prosenttiluku jäisi nykyisten arvosteluperusteiden mukaan vielä pienemmäksi (vrt. Sarvas 1950). Mustikkatyypin siemenpuualoilla männyn uudistaminen on teoksen mukaan kauttaaltaan epäonnistunut. Sarvaksen (1949) mukaan on niinikään yli puolet kanervatyypin siemenpuualojen männyn taimistoista ollut epätyydyttäviä ja puolukkatyypin taimistoista kerrassaan yli kaksi kolmannesta. Mustikkatyypillä männyn taimistot ovat kaikki olleet epätyydyttäviä. Myös kirjoittajan (Lehto 1956) aineisto antaa melko kielteisen kuvan siemenpuumenetelmästä Etelä-Suomen osalta.

Vastaavanlaisia Pohjois-Suomea koskevia tutkimuksia siemenpuumenetelmän käytöstä ei ole tehty. Sitä vastoin on olemassa runsaasti muunlaisia tutkimuksia, joissa tätä kysymystä on tavalla tai toisella sivuttu. Näistä ilmenee mm., että aivan vuosisadan alussa männyn uudistaminen Pohjois-Suomessa, varsinkin metsänrajan tienoilla, oli ilmeisesti hyvin vaikeaa (Renvall 1912, Aaltonen 1919, Mikola 1952, s. 23). Tämä lienee johtunut suurelta osalta siitä, että ilmasto oli ollut pitkän aikaa sekä männyn kasvulle että siementuotannolle epäsuotuisa, minkä takia taimettuminen on ollut vähäistä. Käänne edullisempaan suuntaan tapahtui suunnilleen vuoden 1910 jälkeen, ja 1920-luvulta lähtien männyn kasvu on ollut jopa yli 50 % keskimääräisenä pidettävän tason yläpuolella. Kasvulle edulliset säät ovat johtaneet myös runsaisiin siemensatoihin. Vuodesta 1920 alkaen on metsänrajallakin sattunut useita männyn siemenvuosia, joiden seurauksena tavataan eri-ikäistä taimistoa kaikkialla, missä on mäntyjä. Renvallin (1912) mainitsema, pitkin männyn puurajaa kulkeva vyöhyke, jossa puut olivat menettäneet siemennyskykynsä, on hävinnyt. Taimien kasvu on ollut suhteellisen hyvä (Hustich 1948, Mikola 1950 ja 1952, Siren 1958 ja 1961 a).

Renvallin (1912) jälkeen Pohjois-Suomessa toimitetut männyn taimivarojen inventoinnit (esim. Aaltonen 1919, Sarvas 1950, Oinonen 1956, Metsähallituksen inventointi 1965) viittaavat siihen, että Pohjois-Suomessa olisi nykyisin mahdollisuuksia männyn luontaiseen uudistamiseen. Erittäin myönteisen kuvan saa esim. siemenpuumenetelmän

käyttömahdollisuuksista Pohjois-Suomen oloissa Mikolan (1966a) julkaisusta, jossa kysymystä käsitellään valtakunnan metsien inventointitulosten pohjalla. Tätä käsitystä tukevat monet Neuvostoliitossa, Norjassa ja Ruotsissa vastaavanlaisilla alueilla suoritetut metsänrajakysymyksiin liittyvät tutkimukset, joista Sirén (1958 ja 1961 a) on esittänyt perusteellisen kirjallisuuskatsauksen. Myöhemmistä Norjassa ja Ruotsissa suoritetuista tutkimuksista mainittakoon valtakunnalliset taimivarojen inventoinnit (Braathe 1966 ja Kungl. Skogsstyrelsen 1966).

Yleinen suhtautuminen siemenpuumenetelmään näyttää kuitenkin olevan kielteinen myös Pohjois-Suomessa. Tämä asenne on saattanut osaksi aiheutua siitä, että menetelmää on sovellettu epätarkoituksenmukaisesti. Niinpä uudistushakkuuseen ryhdyttäessä ei usein ole tiedetty, onko sen onnistumiselle esim. maan taimettumiskunnon ja puuston siemensadon puolesta edellytyksiä. Kun työ tehdään vaillinaisesti ja sitten lopuksi pitkän ja turhan odotusajan jälkeen joudutaan turvautumaan keinolliseen uudistamiseen, ovat kustannukset — mm. kasvipeitteen rehevöitymisen takia — toisinaan suuremmat kuin jos olisi toimitettu metsänviljely välittömästi. Lisäksi on otettava huomioon tuoton menetys odotusaikana. On myös jatkuvasti epätietoisuutta siitä, millä tavoin siemenpuumenetelmällä uudistaminen pitäisi toimittaa sellaisessa tapauksessa, jossa sille on edellytyksiä, ennen kaikkea, mitä toimenpiteitä sen tulisi käsittää, jotta se johtaisi mahdollisimman hyvään tulokseen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on ollut selvittää koeala-aineiston valossa, millaiset siemenpuumenetelmän käyttömahdollisuudet ovat nykyisin Pohjois-Suomen kangasmailla. Tätä tavoitetta silmällä pitäen on tarkasteltu, miten yleisesti ja millaisilla kasvupaikoilla ja metsiköissä siemenpuumenetelmää on käytetty, millä tavoin menetelmää on sovellettu ja millaisiin tuloksiin on päästy.

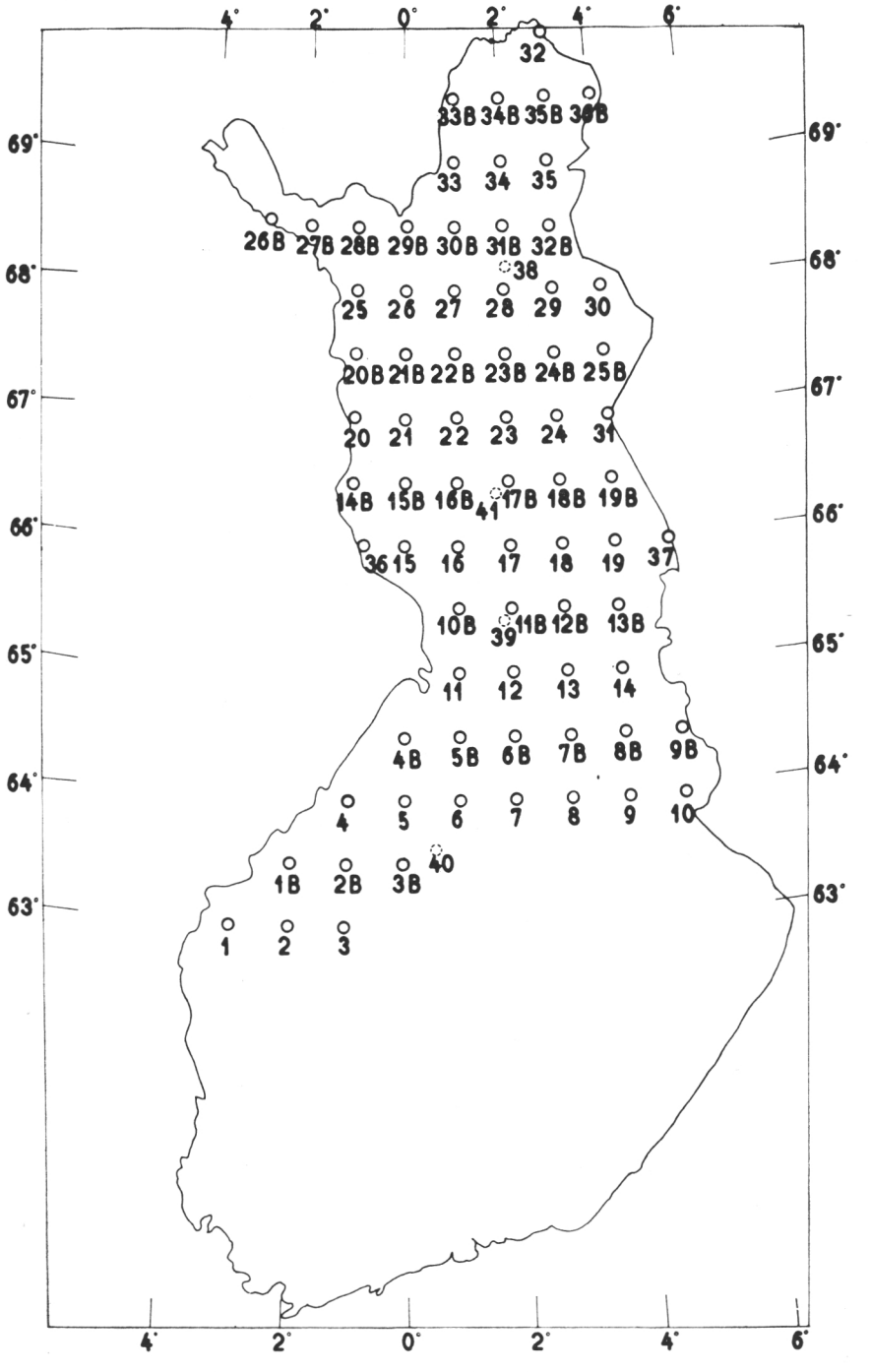
TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO

Tutkimusmenetelmät

Tutkimukset suoritettiin analysoimalla männyn uudistusaloja, joilla oli käytetty siemenpuumenetelmää. Sopivien uudistusalojen löytämiseksi meneteltiin seuraavasti. Suomen yleiskartalle (mittakaava 1: 400 000) merkittiin täysien pituus- ja leveyspiirien leikkauskohtien mukainen kiintopisteverkosto (kuva 1). Maastosta etsittiin kolme kutakin kiintopistettä lähinnä sijaitsevaa, tietyt vaatimukset täyttävää uudistusalaa, sikäli kuin näitä esiintyi. Tämä järjestely supisti vähiin sen mahdollisuuden, että tutkijan subjektiivinen näkemys olisi päässyt vaikuttamaan aineiston koostumukseen. Edelleen takasi käytetty menettelytapa sen, että tarjolle tuli runsaimmin esimerkkejä juuri sellaisista uudistusalatyypeistä, joita tutkimusalueella esiintyy paljon. Aineisto koottiin täten pääpiirtein samaa kvalitatiivista periaatetta noudattaen, jota on meillä käytetty lukuisissa vastaavanlaisissa tutkimuksissa (esim. Aaltonen 1919, Sarvas 1944, 1948, 1949, 1950; vrt. myös Platt ja Griffiths 1964, s. 21).

Sen ohella, että selostettua menettelyä noudattaen saatiin edustava näyte tutkimusalueen siemenpuualoista, antoi näin kerätty aineisto pääpiirteisen käsityksen siemenpuumenetelmän käytön yleisyydestä alueen eri osissa. Kuta lähempänä kiintopisteitä uudistusalat näet jollakin seudulla keskimäärin olivat, sitä yleisempää siemenpuumenetelmän käyttö on tällä alueella ollut.

Tutkimuskohteeksi hyväksyttävältä uudistusalalta vaadittiin ensi sijassa, että metsän käsittelyn tavoitteena oli ollut männyn uudistaminen siemenpuumenetelmää (sanan edellä selostetussa laajemmassa merkityksessä) käyttäen. Alle 10 vuotta sitten siemenpuuasentoon hakattuja uudistusaloja ei otettu aineistoon, sillä haluttiin, että taimettumiseen yleensä varattava enimmäisaika olisi kulunut loppuun. Varsinkaan tutkimusalueen eteläisissä osissa ei hyväksytty mukaan myöskään sellaisia uudistusaloja, joilla hakkuusta oli kulunut yli 20 vuotta, sillä muuten olisi käynyt vaikeaksi saada tietoja esim. siemenpuustosta. Jos jollakin seudulla ei ollut vaatimukset hyvin täyttäviä siemenpuualoja, hyväksyttiin lähinnä näihin rinnastettavissa olevat, mutta tästä tehtiin erityinen merkintä. Tällainen liukuva valintaperuste osoittautui tarkoitukseen soveltuvaksi. Muuten ei olisikaan



Kuva 1. Uudistusalojen kiintopisteverkosto.
Fig. 1. Network of fixed points in the study region.

saatu aineistoa esim. pohjoisimmilta seuduilta ja kuusivaltaisilta alueilta juuri ollenkaan. Valintaperusteiden erot otettiin huomioon alueittain aineiston käsittelyssä.

Metsätyyppien osalta ei tehty etukäteen rajoituksia, vaikka tietenkin oli aikaisempien tietojen nojalla ennakolta odotettavissa, että aineisto tulisi käsittämään valtaosaksi kuivia ja kuivahkoja kankaita. Kivisyyden ja vähäisen soistuneisuuden ei annettu vaikuttaa tutkimuskohteen valintaan, mikäli kyseessä oleva ala katsottiin kangasmaihin kuuluvaksi ja sen metsätyyppi voitiin määrittää. Niinikään ei etukäteen kiinnitetty huomiota siihen, oliko kasvipeite muiden syiden kuin hakkuiden takia normaaliasteisesta (C a j a n d e r 1909) poikkeava. Tällaisia syitä ovat esim. kulot ja karjankäynti. Ei siis etsitty enempää puuston kuin kasvupaikan puolesta ideaalisia uudistusaloja, joita itse asiassa onkin erittäin vähän.

Erityisesti vältettiin ratkaisemasta ennen uudistusalan analysointia, oliko uudistamistoimenpide onnistunut vai ei; tämä jäi tutkimuskohteissa suoritettavien mittausten perusteella pääteltäväksi. Usein ei voitu yleisluontoisen tarkastelun nojalla sanoa edes sitä, oliko siemenpuumenetelmän käyttö jollakin uudistusalalla ollut tarkoituksenmukaista. Tämäkin jäi myöhemmin ratkaistavaksi.

Uudistusalojen etsinnässä jouduttiin turvautumaan suuressa määrin paikallisten metsäammattimiesten apuun. Tarkoitusta varten kehitetyllä haastattelukaavalla onnistuttiin välttämään kenttähenkilökunnan taipumus johtaa tutkijat ensi sijaisesti tavalla tai toisella erikoislaatuisille uudistusaloille.

Kunkin uudistusalan osalta tehtiin maastossa mm. seuraavat työt: Uudistusalasta ja sen lähiympäristöstä piirrettiin kartta, enimmäkseen mittakaavaan 1: 5 000. Tähän merkittiin uudistusalan rajat, joten piirroksesta voitiin myöhemmin mitata sen pinta-ala ja todeta sen muoto. Lisäksi merkittiin kartalle yleistietoja uudistusalan maastosta. Edelleen tehtiin merkintöjä uudistusalaan rajoittuvista kangasmaista ja soista, varsinkin näiden puustosta. Tällä tavoin luotiin yleiskuva uudistusalan asemasta kyseisellä seudulla.

Itse uudistusalalla toimitettiin joukko mittauksia, joissa vaihdettiin menetelmiä tehtävän laadun, ennen kaikkea tutkittavan alan suuruuden mukaan noudattaen tavanomaisia metsänarvioimisen periaatteita. Rajoitetut koealat olivat ympyrän muotoisia, useimmiten 3—10 aarin suuruisia. Eräissä tapauksissa, mm. tuulen kaatamien puiden arvioimisessa käytettiin hehtaarin laajuisia neliön muotoisia koealoja.

Maan ominaisuuksien selvittäminen tapahtui pääasiassa silmävaraisesti ottaen huomioon V i r on (1947, s. 22) mainitsemat virhemahdollisuudet. Maat jaettiin ensi sijassa vedenläpäisevyyttä perusteena pitäen kahteen ryhmään: huonosti vettä läpäisevät (hiesu ja hienojakoiset moreenit) ja helposti vettä läpäisevät (hiekka, somero ja karkeat moreenit). Kuten tun-

nettua, nämä kaksi maalajiryhmää eroavat toisistaan monessa muussakin suhteessa. Niinpä ensiksi mainitut ovat helpommin routivia. Sitä paitsi näiden maalajiryhmien humuskerros eroaa sen vastaavassa kehitysvaiheessa rakenteensa ja paksuutensa puolesta. Myös kasvillisuus on erilaista (vrt. Viro 1947, Vaartaja 1951). Jälkimmäisen ryhmän mailla ovat kulot yleisempiä.

Kivisyys arvioitiin osaksi silmävaraisesti (erityisesti kivisillä mailla), osaksi mitattiin tarkistuksen vuoksi Viron (1958) esittämällä tavalla. Viron (mt.) mukaan kivisimpien maiden kivisyys näyttää varsinkin Pohjois-Suomen osalta olevan helpommin arvioitavissa silmävaraisesti kuin vähemmän kivisten. Koska tämän tutkimuksen kannalta vain melko selvät erot kivisyydessä näyttivät merkityksellisiltä, katsottiin käytetty menettely riittäväksi.

Kasvupaikat luokitettiin Cajanderin metsätyyppijärjestelmän mukaan. Kivisillä mailla metsätyyppi määritettiin kivien väleissä esiintyvien kasvien perusteella (vrt. Viro 1958, s. 25), mutta tällöin metsätyypin yhteyteen liitettiin maininta kivisyydestä. Samoin tehtiin merkintöjä soistuneista kohdista. Luokitusvaikeuksia aiheutti tutkituilla uudistusaloilla erityisesti se, että pintakasvillisuuskuva poikkeaa yleisesti hakkuiden, porojen ja muiden eläinten laiduntamisen sekä usein kulojenkin vaikutuksesta huomattavasti normaalitilaisesta. Myöskään puustosta ei yleensä saatu luotettavaa tukea mm. siksi, että siemenpuiden pituuskehitys ei näytä olevan samanlainen kuin sulkeutuneen metsikön valtapuiden. Sitä paitsi siemenpuut oli usein kaadettu. Kaiken lisäksi kävi ilmi, että pystyyn jätetyt puut eivät kovin useissa tapauksissa edustaneet alkuperäisen metsikön valtapuustoa, vaan alempia latvuskerroksia. Reunametsät taas olivat hyvin usein suota, taimistoaloja, määrämittahakkuin käsiteltyjä metsiköitä ym., joten niistäkin saatiin harvoin tukea. Toisaalta se seikka, että tutkittiin kokonaisia metsikkökuvioita, teki työn helpommaksi kuin se on esim. linja-arvioinnissa (vrt. Ilvessalo 1960, s. 15). — Yksinkertaisuuden vuoksi metsätyypit on seuraavassa esityksessä useimmiten ryhmitetty kasvupaikkatyypeiksi, jollaista menettelyä on meillä ennenkin käytetty (vrt. Sarvas 1950, 1956, Mikola 1963, Lehto 1964).

Tutkimuskohteessa mahdollisesti esiintyneen kulon ajankohta ja voimakkuus saatiin selville joko asiakirjoista tai puustosta, joskus paikkakuntalaisilta tiedustelemalla. Jos puissa tai kannoissa havaittiin palokoroja, määritettiin kulon ajankohta vuosilustojen avulla. Palokorot ilmaisevat myös kulon voimakkuuden. Vuosikymmeniä sitten esiintynyt lievä pintakulo todettiin usein kaarnan rakojen reunoissa olevasta hiilestä. Vanhoihin, yli 100 v. sitten esiintyneisiin kuloihin ei kiinnitetty niin suurta huomiota kuin myöhempiin. Tunnetusti jokseenkin kaikki kangasmetsämme ovat palaneet viimeks' kuluneiden parinsadan vuoden aikana, joten on tuskin ajateltavissa

sellainen mahdollisuus, että jokin uudistusala olisi säästynyt tulelta kokonaan tai hyvin paljon pitempään kuin muut ja siten eroaisi tässä suhteessa muusta aineistosta (vrt. Siré n 1961a). On tosin mahdollista, että jokin Lapin laajojen suoalueiden keskellä oleva kangassaareke muodostaisi tällaisen poikkeuksen. Tämäkin näkökohta otettiin aineiston käsittelyssä huomioon, sitäkin suuremmalla syyllä, kun tällaiset yksinäiset saarekkeet eroavat muillakin tavoin laajahkoista kangasmaa-alueista.

Metsikön ikä arvioitiin valtapuiden tyvestä suoritettujen kairausten tai kantojen vuosilustojen perusteella. Näin todettuun ikään lisättiin se määrä vuosia, mikä arvioitiin kuluneen, ennen kuin puu oli saavuttanut kannon tai kairauskohdan korkeuden. Tämä arviointi tapahtui Kuuselan (1964) esittämien ohjeiden mukaan. Pystyssä olevista siemenpuista merkittiin muistiin myös latvuksen pituus ja elinvoimaisuus.

Taimet luettiin 5 m^2:n suuruisilta ympyröiltä, joita rajoitettiin tasaisin välimatkoin kulloinkin tarpeelliseksi katsottu määrä. Taimia koskevia mittauksia selostetaan tarkemmin s. 55—60.

Tutkimusalue

Tutkimusalueen sijainti selviää kuvasta 1. Alueen eteläraja seuraa pääpiirtein Kalelan (1961) esittämien metsäkasvillisuusvyöhykkeiden 2 (Etelä-Suomi) ja 3 (Pohjanmaa) välistä rajaa, ulottuen läntisen Pohjanmaan kohdalla suunnilleen leveyspiiriin 63°p.l. ja idempänä 64°p.l. Tutkimusalueen muut rajat määräytyvät valtakunnan rajojen mukaan.

Silmäys männyn luontaista levenemisaluetta esittävään karttaan (esim. Rubner 1960) osoittaa, että Pohjois-Suomi sijaitsee tämän alueen luoteisreunamalla, melko etäällä sen keskiosista. On odotettavissa, että männyn uudistaminen tällaisella periferia-alueella saa piirteitä, jotka poikkeavat levenemisalueen sydänosissa esiintyvistä. Näinhän on laita yleisestikin eri puulajien uudistamisessa (Hustich 1948, Mikola 1952, s. 5, Sarvas 1964). Tämä tosiasia tulee esiin kärjistyneessä muodossaan puuraja-alueilla. Niinpä Mikolan (1950, s. 63—70) mukaan lämpöoloista johtuvan vuotuisen pituus- ja sädekasvun vaihtelut ovat metsänrajaseudulla huomattavasti suurempia kuin vähän etelämpänä. Runsaat siemenvuodet ja hyvät uudistumisvuodet näyttävät noilla seuduilla keskittyvän erityisen selvästi männyn voimakkaan kasvun kausiin (Mikola 1952, s. 25, Siré n 1961a, s. 30). Todettakoon myös, että tutkimusalueen männyllä on rodullisia erikoisominaisuuksia, jotka saattavat vaikuttaa sen uudistamismahdollisuuksiin (Pravdin 1964).

Kun tutkittavaksi otettu alue on eri osiltaan monessa suhteessa varsin erilainen, se on jaettu käsillä olevaa työtä silmällä pitäen viiteen vyöhykkeeseen. Jako on toimitettu mukaillen Kalelan (1961) esittämiä metsäkas-

villisuusvyöhykkeitä; lisäksi Pohjanmaa on jaettu kahtia siten, että Pohjanlahden rannikkoalue on erotettu Kainuun vaara-alueesta. Tutkimusalueen vyöhykkeistä käytetään tässä esityksessä seuraavia nimityksiä: (I) Pohjanmaa, (II) Kainuu, (III) Peräpohjola, (IV) Metsä-Lappi ja (V) Tunturi-Lappi. Huomattakoon vielä, että ne eivät täysin vastaa saman nimisiä metsäkasvillisuusvyöhykkeitä.

Kuten mm. K a l e l a (1961) on osoittanut, voidaan tällaisten vyöhykkeiden välillä todeta huomattavia keskimääräisiä eroja metsien pintakasvillisuudessa. Nämä johtuvat pääosaksi siitä, että vyöhykkeiden kesken on pinnanmuodostuksellisia, maaperällisiä ja ilmastollisia eroja, jotka vaikuttavat kasvien toimeentuloon. Kaikki nämä tekijät vaikuttavat suuresti myös metsien uudistumisherkkyyteen. Pienet siemensyntyiset puuntaimethan ovat monessa suhteessa ekologisilta ominaisuuksiltaan vastaavanlaisiin pintakasvillisuuden putkilokasvilajeihin rinnastettavissa (A a l t o n e n 1936, S a r v a s 1944).

Edellä esitetynlaisin perustein tapahtuva vyöhykkeiden rajojen vetäminen on kuitenkin suuressa määrin mielivaltaista. Tähän viittaa sekin, että eri kasvimaantieteilijöiden on vaikea päästä yksimielisyyteen jopa vyöhykkeiden lukumäärästä (vrt. H ä m e t - A h t i 1968). Suuralueen jakaminen luonnonsuhteiden kannalta erilaisiin osiin onkin epäilemättä hankalaa Suomen kaltaisessa maassa, jossa muutokset seudulta toiselle siirryttäessä tapahtuvat yleensä vähittäin. Monessa kohden vyöhykkeisiin jakaminen näyttääkin väkinäiseltä (vrt. S a r v a s 1964, s. 75). Kyseessä olevan melko laajan tutkimusalueen jakaminen tavalla tai toisella alaryhmiin helpottaa kuitenkin tuntuvasti aineiston käsittelyä ja mm. rinnastusten tekoa tutkimusalueen eri osien välillä. Metsäkasvillisuusvyöhykkeisiin perustuva alueellinen jako lienee uudistamiskysymysten tarkastelun kannalta sopivimpia.

Mainittakoon vielä, että vähäisiä eteläisimpiä osia lukuunottamatta tutkimusalue kuuluu metsämaan keskimääräisen tuottokyvyn kannalta maamme heikoimpiin. Pääosassa aluetta tuottokyky on 1,6—3,0 m^3/ha vuodessa, kun se maamme suotuisimmissa osissa on 5,1+ m^3/ha (I l v e s s a l o 1960, kartta 30). Tutkimusalueen metsien vähäinen kasvu johtuu epäilemättä suureksi osaksi kasvukauden alhaisesta lämpötilasta. Tätä havainnollistaa esim. tehoisan lämpötilan summaa eri osissa maatamme esittävä kartta (K o l k k i 1966, s. 42). Kunkin uudistusalan lämpösumma nähdään taulukosta n:o 6.

Tutkimusaineisto

Uudistusaloja kertyi kaikkiaan 209. Niiden yhteenlaskettu pinta-ala on noin 1 625 ha. Lisäksi on muutamia muita uudistusaloja, joilla selviteltiin eräitä erikoiskysymyksiä.

Taulukko 1. Uudistusalat omistajaryhmittäin
Table 1. Regeneration areas according to owner group

Vyöhyke *Zone*	Yksityisluontoiset *Private*				Valtio, kunnat ym. *State, communes etc.*				Valtion maan arvioitu osuus koko vyöhykkeen maa-alasta, % *Estimated proportion of state owned land from the whole land area of the zones, %*
	kpl *Regeneration areas*	%	ha *ha*	%	kpl *Regeneration areas*	%	ha *ha*	%	
Pohjanmaa	43	89.6	127	63.7	5	10.4	72	36.3	36
Kainuu	36	66.7	137	35.3	18	33.3	251	64.7	65
Peräpohjola	31	60.8	193	38.3	20	39.3	309	61.7	62
Metsä-Lappi	7	21.9	52	12.8	25	78.1	355	87.2	87
Tunturi-Lappi	1	4.2	3	2.3	23	95.8	127	97.7	98
Yhteensä — *Total*	118	—	—	—	91	—	—	—	—

Uudistusalat ovat sattuneet eri vyöhykkeillä yksityisten ja valtion omistamille maille taulukon 1 osoittamalla tavalla.

Sekä uudistusalojen lukumäärän että niiden pinta-alan perusteella laskettuna valtion maan osuus suurenee Pohjanmaalta Kainuuseen ja sieltä pohjoista kohti pääpiirtein samassa suhteessa kuin valtion maiden osuus koko maa-alasta lisääntyy (Suomen kartasto 1960, s. 23). Niinpä Pohjanmaalla valtaosa (n. 90 %) uudistusalojen lukumäärästä sijaitsee yksityismailla, kun taas Tunturi-Lapissa näiden osalle on tullut vain noin 4 % uudistusaloista. Tämä yhdenmukaisuus voitaneen tulkita siten, että pyrkimyksessä sattumanvaraisuuteen tutkimuskohteita etsittäessä on ainakin tältä osalta onnistuttu hyvin.

Uudistusalat jakautuvat pinta-alan mukaisiin suuruusluokkiin taulukon 2 esittämällä tavalla. Pienet uudistusalat (alle 3 ha) ovat olleet Pohjanmaalla ja Kainuussa varsin yleisiä, mutta pohjoisemmissa vyöhykkeissä niiden osuus on selvästi pienempi. Tämä on selitettävissä pääasiassa siten, että eteläisillä alueilla on omistajien suoranaisessa valvonnassa olevien yksityismetsien osuus suurempi kuin pohjoisilla, ja yksityismetsissä on metsien käsittely yleensä ollut pienipiirteisempää kuin valtion metsissä. Huomattakoon myös, että yksityisten omistamat metsiköt ovat Pohjanmaalla tunnetusti keskimäärin pienempiä kuin Kainuussa ja pohjoisemmilla alueilla.

Uudistusalojen pinta-alaluokka 3—10 ha on kaikissa vyöhykkeissä yleisin. Suuria, yli 10 ha:n uudistusaloja esiintyy runsaasti varsinkin Kainuussa ja Peräpohjolassa. Uudistusalan koolla näyttäisi olevan merkitystä ensi sijassa siementymistä ajatellen. Jos hyvin pienen uudistusalan reunametsä käsittää siementämisikäistä männikköä, tulee alalle siementä tietysti runsaammin kuin suuren uudistusalan keskiosiin, edellyttäen, että molempien alojen oma siemenpuusto tuottaa yhtä suuria siemenmääriä pinta-alayksikköä kohden

3 9206—69

Taulukko 2. Uudistusalojen jakaantuminen pinta-alan mukaisiin suuruusluokkiin

Table 2. Regeneration areas according to size

Uudistusalan laajuus ha *Size of regeneration area, ha*	Pohjanmaa			Kainuu			Peräpohjola			Metsä-Lappi			Tunturi-Lappi		
	Uudistusaloja kpl *Number of areas*	Kokonaispinta-ala, ha *Total area, ha*	Keskipinta-ala, ha *Mean area ha*	Uudistusaloja kpl *Number of areas*	Kokonaispinta-ala, ha *Total area, ha*	Keskipinta-ala, ha *Mean area ha*	Uudistusaloja kpl *Number of areas*	Kokonaispinta-ala, ha *Total area, ha*	Keskipinta-ala, ha *Mean area ha*	Uudistusaloja kpl *Number of areas*	Kokonaispinta-ala, ha *Total area, ha*	Keskipinta-ala, ha *Mean area ha*	Uudistusaloja kpl *Number of areas*	Kokonaispinta-ala, ha *Total area, ha*	Keskipinta-ala, ha *Mean area, ha*
3	20	33	1.6	19	36	1.9	13	24	1.8	5	8	1.6	5	7	1.4
3—10	26	124	4.8	22	104	4.7	31	178	5.7	20	123	6.2	18	113	6.3
10	2	42	—	13	248	19.1	7	299	42.7	7	276	39.4	1	10	—
Yhteensä *Total*	48	199	—	54	388	—	51	501	—	32	407	—	24	130	—

Taulukko 3. Uudistusalojen jakaantuminen korkeusluokkiin (mpy) vyöhykkeittäin; kunkin vyöhykkeen suurin korkeus ja keskimääräinen korkeus

Table 3. Distribution of regeneration areas into classes above sea level; the greatest height and the mean height in each zone

Vyöhyke *Zone*	0—50 m	51—100 m	101—200 m	201—300 m	>300 m	Suurin korkeus m *Greatest height, m*	Keskimääräinen korkeus, m *Mean height, m*
Pohjanmaa	12 kpl *areas*	18 kpl *areas*	18 kpl *areas*	— kpl *areas*	— kpl *areas*	200	91
Kainuu	— »	— »	22 »	30 »	2 »	320	212
Peräpohjola	— »	5 »	25 »	21 »	— »	270	192
Metsä-Lappi	— »	1 »	10 »	19 »	2 »	340	225
Tunturi-Lappi	— »	— »	9 »	4 »	11 »	460	257

ja edellyttäen, että reunametsän siementämiskyky on suurempi pinta-alayksikköä kohden kuin siemenpuuston. Myös reunametsän sekapuulajien siemennys on otettava huomioon.

Uudistusaloista piirretyistä kartoista kävi selvästi ilmi, että niiden muoto on useimmiten pitkulainen, joten mahdollisuuksia reunametsän siementämiseen oli verraten laajoillakin uudistusaloilla. Siemennyksen ohella vaikuttaa reunametsän juuristokilpailu ja varjostus, lumen kasaantuminen tiettyihin kohtiin yms.

Uudistusalojen korkeus merenpinnasta eri vyöhykkeissä korkeusluokittain käy selville taulukosta 3. Tästä havaitaan, että Pohjanmaan vyöhykkeessä suurin osa uudistusaloista on varsin matalalla, alle 100 m merenpinnasta, ja suurin korkeus on 200 m. Uudistusalojen keskimääräinen korkeus Pohjanmaalla on 91 m, mikä vastannee varsin hyvin alueen yleisiä korkeussuhteita. Kaikkien muiden vyöhykkeiden uudistusalat ovat keskimäärin selvästi korkeammalla kuin Pohjanmaan, mutta toisaalta näiden muiden vyöhykkeiden väliset keskikorkeuserot ovat verraten vähäiset. On ilmeistä, että varsinkin Metsä-Lapin ja Tunturi-Lapin korkeimmalla sijaitsevat uudistusalat ovat ilmastollisesti männyn uudistamisen kannalta epäsuotuisammassa asemassa kuin muut (Siréen ym. 1958).

Nykyisen käsityksen mukaan näyttää 250—300 m:n korkeusviiva, jolloin 250 m tarkoittaa koillisrinteitä ja 300 m lounaisrinteitä, olevan männyn uudistamisen kannalta erittäin merkityksellinen. Sen yläpuolella olosuhteet huononevat jyrkästi alempana sijaitseviin metsiin verrattuna (Oinonen ym. 1958).

Paitsi ilmaston kannalta, on uudistusalan korkeudella merkitystä myös maaperän puolesta. Niinpä Pohjanmaan vyöhykkeen rannikkoalueella sijaitsevat uudistusalat ovat »nuorella» maalla (podsolialue III a), joka on jäänyt

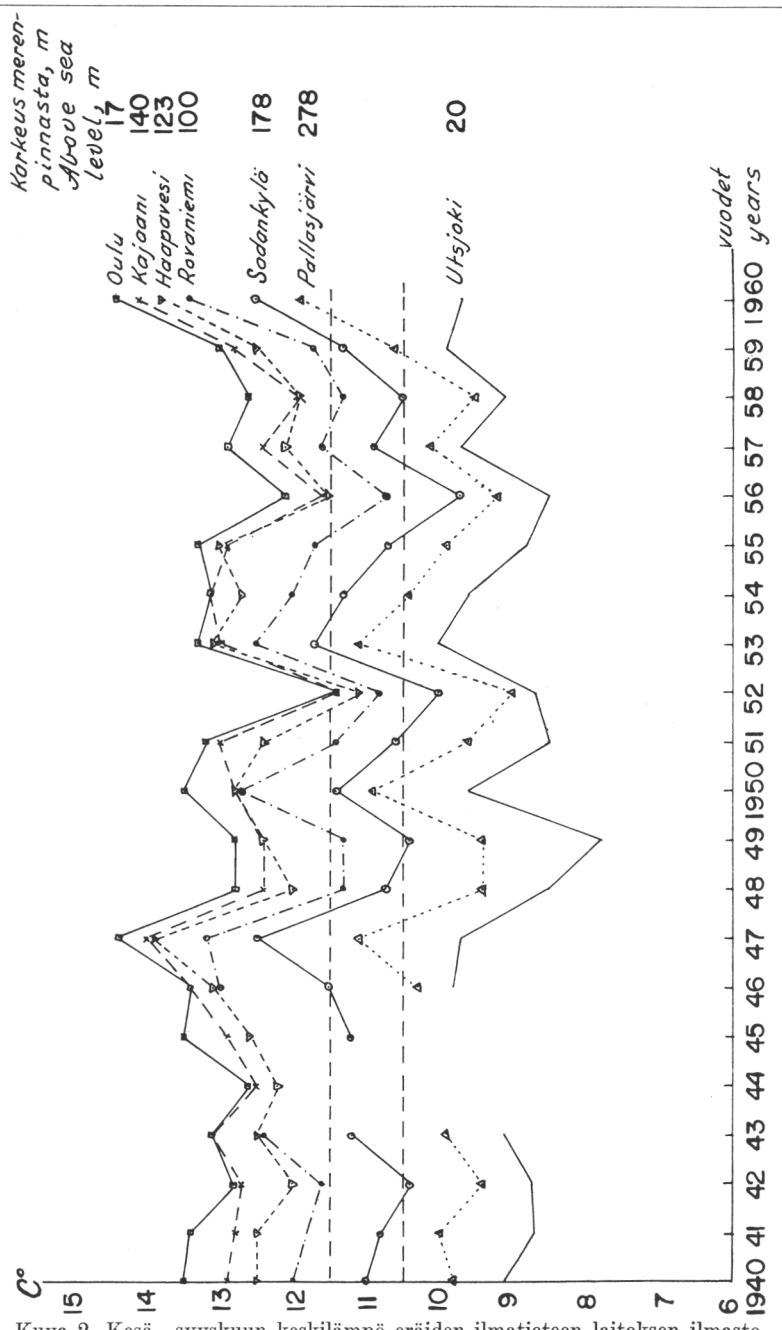
Litorina-meren korkeimman rannan alapuolelle (Aaltonen 1940). Pohjoisempana taas on merkityksellinen jääämeren aikuinen meriraja, joka on nykyisin etupäässä n. 250 m korkeudella. Huomattakoon, että suuri osa Pohjois-Suomen kuusialueista on tämän rajan yläpuolella (Heikinheimo 1922, 1939).

Edellä olevasta aineiston keräystapaa ja tutkimusaluetta koskevasta selostuksesta ilmenee, ettei näin saatu aineisto voi olla juuri minkään tekijän suhteen homogeeninen, eikä siitä voi helposti muodostaa tilastollisiin selvittelyihin tarpeellisia yhtenäisiä riittävän suuria ryhmiä. Metsäluontomme on niin moninainen, ettei tähän riittäisi huomattavasti laajempikaan aineisto (vrt. Cajanus 1914, Lönnroth 1925, Sarvas 1949, s. 33, Sirén 1955, s. 51). Käsillä olevan vertailevan tutkimuksen tarpeisiin näyttää kerätty aineisto kuitenkin tarkoitustaan vastaavalta.

UUDISTAMISKAUDEN SÄÄT

Uudistamiskauden säillä on merkitystä tutkimusalueen metsien luontaisessa uudistamisessa kolmella päätavalla. Ensimmäiseksi itämiskelpoisen siemensadon määrä ja laatu vaihtelevat suuresti sääolojen, etenkin kasvukauden lämpötilan mukaan. Toiseksi itäminen tapahtuu vain kun lämpötila on riittävän korkea ja (kangasmailla) sademäärä tarpeeksi suuri. Kolmanneksi nuoret taimet säilyvät elossa ja kehittyvät edelleen vain, jos itämisajankohtaa seuraava ajanjakso on sääsuhteiltaan suotuisa, ennen kaikkea riittävän kostea. Ymmärrettävästi ei ole käytettävissä tutkimuskohteita koskevia seikkaperäisiä säätietoja kyseessä olevalta ajanjaksolta, mutta joitakin yleisiä päätelmiä on mahdollista tehdä mm. Ilmatieteen laitoksen julkaisemien katsausten perusteella.

Hagemin (1917) mukaan männyn siemenen tulentumiseen vaadittava kesä-syyskuun lämpötila on vähintään +10.5°C. Tämän ovat vahvistaneet myöhemmät tutkimukset (esim. Kujala 1927). Morkin (1957) mukaan tarvitaan siemenen täydelliseen kypsymiseen — puun hyvän ravinnetilanteen ohella — vähintään +11.5°C. Siemenen muodostuminen männyllä on kuitenkin pitkäaikainen tapahtumasarja, ja pohjoisilla seuduilla sen kaikki vaiheet näyttävät vaativan onnistuakseen lämpötilaltaan tavallista suotuisamman ajanjakson. Monet havainnot viittaavat siihen, että tyydyttävän siemensadon muodostumiseen tarvitaan vähintään kolme perättäistä lämpötilan puolesta verraten edullista kasvukautta (Tm +10.5°C). Näistä järjestyksessä toisen täytyy olla aurinkoinen ja pölytysajankohtana tuulisuhteiden ja kosteuden puolesta edullinen. Kukintakesän keskilämmöksi riittää 9.5°C (Sarvas 1962). Männyn vegetatiiviseen kasvuun tosin riittää varsin hyvin asteen verran tätä alhaisempikin kasvukauden keskilämpö, siis n. 8.5°C (vrt. Mikola 1952), mutta puun ravinnetilanne jää tällaisena viileänä kesänä heikoksi, ja ilman riittävää ravintovarastoa ei siementuotanto pääse käyntiin (Baldwin 1942). Täten ei seuraavana vuonna ole hyviä edellytyksiä siemenenmuodostuksen alkamiseen, vaikka sääsuhteet silloin olisivat sen kannalta suotuisat. Ilmeisesti edellä mainittu siemenen muodostumiselle edullinen puiden hyvä ravinnetilanne saavutetaan tutkimusalueen oloissa parhaiten, kun esiintyy lukuisia suotuisia, ennen kaikkea lämpimiä kasvukausia. Niinpä Mikolan (1952) mukaan männyn siemenvuodet Lapin metsänrajaseudulla esiintyvät samoihin aikoihin kuin



Kuva 2. Kesä—syyskuun keskilämpö eräiden ilmatieteen laitoksen ilmastoasemien mukaan. Vaakasuora katkoviiva 10.5°:n kohdalla osoittaa männyn siemenen osittaiseen tuleentumiseen, 11.5°:n kohdalla sen täydelliseen tuleentumiseen tarvittavaa kasvukauden keskilämpöä.

Fig. 2. Mean temperature June- September according to certain meteorological stations. Horizontal broken line at 10.5° indicates mean temperature of the growing season required for partial maturation of pine seed, and at 11.5°, the mean temperature required for complete maturation.

puiden keskimääräistä paremman paksuuskasvun kaudet ja viimeksimainitut vuorostaan keskittyvät selvästi tavallista lämpimämpien kasvukausien jaksoihin.

Kuvasta 2 ilmenee, että Rovaniemen tienoilla ja sen eteläpuoleisilla alueilla kasvukauden keskilämpö on useimpina kesinä vuosien 1940—1960 välillä riittänyt runsaan siemensadon muodostumiseen. Pohjoisempana tilanne on ollut huonompi. Utsjoen sääaseman mukaan ei Tunturi-Lapissa näytä olleen tuona jaksona edes siemenen osittaiseen kypsymiseen tarpeeksi lämpimiä kesiä. — Huomattakoon, että Utsjoen sääasema sijaitsee vain n. 20 m. merenpinnan yläpuolella eli paljon alempana kuin useimmat Tunturi-Lapin uudistusalat. Siten lämpöolot tämän vyöhykkeen uudistusaloilla ovat ilmeisesti olleet usein männyn kukintaan riittämättömät. Mikolan (1959, kuva 6) mukaan männyn paksuuskasvu on vuosina 1940—56 ollut selvästi laskusuunnassa verrattuna vuosijakson 1920—40 tasoon. Siten on ilmeistä, ettei puiden ravinnetilanne ole tällä seudulla ollut erityisen hyvä ensiksi mainittuna vuosijaksona, mutta ei myöskään niin huono kuin esim. 1900—1915 (Mikola, mt.). Rovaniemen ja Utsjoen välisellä alueella on ollut vain joitakin kasvukausia, joina siemen on voinut lämpöolojen kannalta tuleentua, esim. jo Sodankylän seudulla kuitenkin 16—17 tällaista kasvukautta. Pohjanmaan ja Kainuun vyöhykkeissä kasvukauden lämpötila ei yleensä ole asettanut estettä männyn siemenen tuleentumiselle.

Männyn siemenen itämiseen tarvittava minimilämpötila on varsin alhainen, 5—6°C (Haack 1912). Kuitenkin nopeaan ja täydelliseen itämiseen vaadittava lämpö on tuntuvasti korkeampi, erityisesti, jos siemen on alttiina valolle (Mork 1933, Yli-Vakkuri 1961, Sarvas 1964).

Paraslaatuinen männyn siemen varisee Lapissa jo toukokuun loppuun mennessä (Heikinheimo 1944, s. 20). Maanpinta on varsinkin pohjoisrinteillä ja metsiköissä muuallakin vielä tällöin keskimäärin hyvin viileä (Sirén 1955, Franssila 1960). Tosin siemen stratifioituu ollessaan jonkin aikaa viileässä ja kosteassa, mutta ellei lämpötila nouse riittävän ajoissa itämiselle suotuisaksi, siirtyy tämä tapahtuma helposti liian myöhäiseen vaiheeseen, kasvukauden keski- tai loppupuolelle. Esimerkkinä siitä, että itäminen voi Lapissa viileiden säiden takia lykkääntyä varsin myöhäiseen vaiheeseen, vaikka kosteutta olisi tarpeeksi, mainittakoon Rovaniemen läheisyydessä kesäkuun alussa 1964 toimeenpantu kylvökoe. Kasvukauden viileyden takia männyn siemen alkoi itää vasta heinäkuun puolivälissä ja pääosa siemenestä iti vasta elokuussa. Itämisen lykkääntymisestä kovin myöhään on tietysti monia haittoja. Niinpä Morkin (1933) Pohjois-Norjassa tekemien tutkimusten mukaan elokuun 1 päivän jälkeen syntyvät kuusen taimet jäävät niin heikoiksi, että ne tuhoutuvat seuraavana talvena. Sama koskee männyn taimia (vrt. Yli-Vakkuri 1961 ja Kurkela 1967). On myös tunnettua, että kun siemen on maassa pitkään itä-

mättä, siitä tuhoutuu yhä suurempi osa (Lehto 1956, Yli-Vakkuri 1961). Edelleen käy toisinaan niin, ettei keskikesällä, jolloin lämpöä on yleensä jo tarpeeksi, ole itämiseen tarvittavaa kosteutta. Sarvas (1944) mainitsee, että 1940, jolloin saatiin ennätysmäisen runsas männyn siemensato, ei syntynyt sirkkataimia kovan kuivuuden takia ennen kuin loppukesällä.

Myös taimien myöhemmän kehityksen kannalta kasvukauden lämpötilalla on merkitystä. Niinpä verraten korkea maan lämpötila on tarpeen juuriston kehitykselle (vrt. Aaltonen 1940, s. 393—394). Ladefogedin (1939) mukaan juurten kasvu tapahtuu noin kaksi kertaa niin nopeasti +12°C:n kuin +8°C:n lämpötilassa. Hidas kasvu alhaisessa lämpötilassa johtunee vaikeasta vedensaannista. Lämpötilan aletessa veden viskositeetti kasvaa ja juurisolujen läpäisevyys pienenee. Lisäksi alhaisessa lämpötilassa maan vedenluovutuskyky on pieni. Myös runsaan valonsaannin tiedetään edistävän juurten kehitystä ja sitä tietä taimien säilymistä (vrt. Aaltonen 1940, s. 390). Maan lämpötila nousee tietenkin yleensä korkeimmaksi silloin kun auringonsäteilyä tulee eniten. Juurten nopea kasvu on tärkeää erityisesti kuivilla kangasmailla, sillä näiden pintakerros kuivuu poutakausina nopeasti, jolloin lyhytjuuristoiset taimet helposti kuolevat. Tiedetään myös, että lämpimänä kesänä taimen ravitsemustila muodostuu yleensä paremmaksi kuin viileänä, mistä johtuen taimi on tuhonkestävämpi ja sen pituuskasvu on seuraavana kesänä suurempi. Näin ollen tavallista lämpimämmät kasvukaudet ovat varsinkin tutkimusalueen pohjoisosissa edullisia taimien elossa säilymisen ja kehityksen kannalta edellyttäen tietysti, ettei kuivuus tällöin muodosta haittatekijää. Siréninin (1955) ja Franssilan (1960) tekemien mittausten mukaan maan lämpötila kasvukauden aikana on ollut enimmäkseen männyn taimien suotuisan kehityksen kannalta riittämätön ainakin Peräpohjolassa ja sitä pohjoisempana 1950-luvulla. Tilanne on siten ilmeisesti tässäkin suhteessa ollut parempi esim. jaksona 1920—40 (Mikola 1959).

Myös riittävä kosteus on tietysti taimien ensi kehitykselle tärkeä. Koko kasvukauden sademäärä ei kuitenkaan ole ratkaiseva. Niinpä lumen sulaessa ja jonkin aikaa sen jälkeen on kosteutta taimille riittämiin, jopa tietyissä olosuhteissa liikaakin. Merkityksellisempää on se, ettei varsinkaan kesän keski- ja loppuvaiheilla satu pitkää yhtäjaksoista poutakautta. Jo muutaman päivän keskeytymätön helle on itutaimille turmiollinen (Vaartaja 1950 ja 1954), ja pitemmät poutakaudet koituvat tuhoisiksi suuremmillekin taimille. Sarvas (1950, s. 46—50) pitää heinäkuun humidisuutta erityisen tärkeänä Pohjois-Suomen osalta siten, että mitä korkeampi tämän kuukauden humidisuusluku on, sitä paremmat edellytykset pienillä taimilla on selviytyä kasvukauden yli. Myös kesä- ja elokuun humidisuudella on tietysti huomattava merkitys. Kasvukauden kosteusolojen tarkastelussa lienee tarkoituksenmukaista käyttää perusteena kesä-elokuun humidisuutta.

Seuraavasta asetelmasta käy selville kesä-elokuun keskimääräinen humidisuus vuosina 1945—1962 ja vertailukautena 1921—1950. Suluissa olevat humidisuusluvut perustuvat vaillinaiseen aineistoon.

	1945—62	1921—50
Vaasa	13.2	11.8
Oulu	12.9	11.7
Kajaani	15.9	14.4
Kuusamo	(15.6)	15.5
Rovaniemi	(12.6)	13.1
Sodankylä	15.6	15.3
Muonio	(16.8)	14.1

Asetelmasta havaitaan, että niiden paikkakuntien osalta, joilta on saatu jotakuinkin täydelliset tiedot, humidisuus on tutkimuskautena ollut hieman suurempi kuin vertausjakson kuluessa. Kun esim. Tampereella kesä-elokuun humidisuus on ollut keskimäärin 12.3, todetaan, että tutkimusajanjaksona tutkimusalueen humidisuus on ollut keskimäärin vähintään yhtä suuri kuin Etelä-Suomessa. Koska Pohjois-Suomessa lumipeitteestä keväällä muodostuva kosteus on runsaampi ja säilyy maassa myöhempään, ovat kosteusolot siellä kokonaisuudessaan ehkä edullisemmat kuin etelämpänä. Kysymys on kuitenkin varsin monisäikeinen. Niinpä kesäpäivät ovat Lapissa pitempiä kuin Etelä-Suomessa, mistä johtuen Lapissa taimien elintoimintojen vuorokautinen rytmi lienee toisenlainen kuin etelämpänä ja se puolestaan saattaa aiheuttaa eroja vedentarpeessa. Huomattakoon myös, että keskikesän aikana aurinko ei Lapissa laske ollenkaan, josta syystä poutakauden sattuessa ei kuivuuteen tule keskeytystä edes yökasteen muodossa niin paljon kuin eteläisemmillä seuduilla. Tällöin maanpinta kuivuu hyvinkin perusteellisesti (vrt. Novikov 1948).

KASVUPAIKAT

Viljavuus

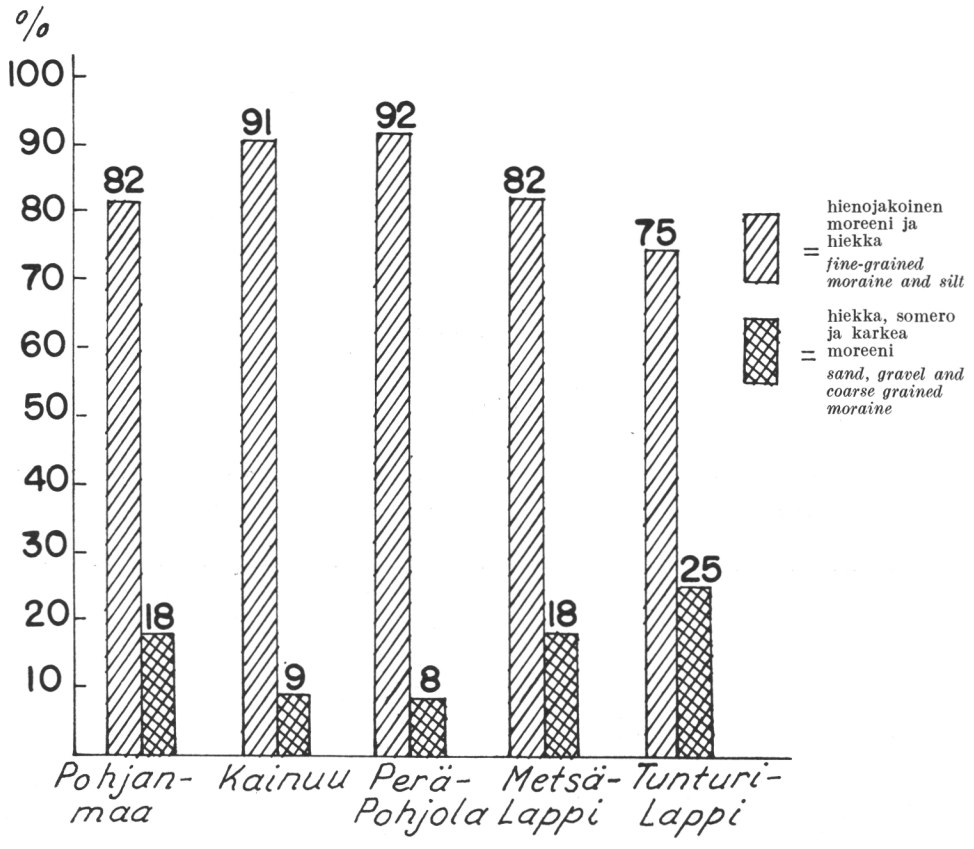
Uudistusalat jakaantuvat vyöhykkeittäin kasvupaikan viljavuuden (vrt. Lehto 1964, Ilvessalo 1968) mukaan seuraavasti:

Vyöhyke	Kuivat kankaat				Kuivahkot kankaat				Tuoreet kankaat				Uudistusaloja yht. kpl
	kpl	%	ha	%	kpl	%	ha	%	kpl	%	ha	%	
Pohjanmaa	8	16.7	25	12.6	27	56.2	115	57.8	13	27.1	59	29.6	48
Kainuu	13	24.1	69	17.8	24	44.4	217	55.9	17	31.5	102	26.3	54
Peräpohjola	10	19.6	198	39.5	19	37.3	140	27.9	22	43.1	163	32.6	51
Metsä-Lappi	19	59.4	202	49.6	6	18.8	144	35.4	7	21.8	61	15.0	32
Tunturi-Lappi	18	75.0	102	78.5	6	25.0	28	21.5	—	—	—	—	24
Yhteensä	68	—	596	—	82	—	644	—	59	—	385	—	209
Keskimäärin	—	32.6	—	36.7	—	39.2	—	39.6	—	28.2	—	23.7	—

Tunturi-Lapin osalta tutkimuskohteiden jakaantuminen viljavuudeltaan erilaisille kasvupaikoille jäi jossakin määrin epäselväksi. Pohjoisinta Suomea varten ei näet vielä ollut käytettävissä riittävän koeteltua kasvupaikkojen luokitusjärjestelmää.

Aineistossa on edellä olevan asetelman mukaan runsaanpuoleisesti uudistusaloja kaikilta kolmelta tutkimusalueella yleiseltä kasvupaikkatyypiltä. Tuoreiden maiden osuus on yllättävän suuri; olisi tuskin odottanut, että mäntyä on yritetty uudistaa luontaisesti ilman maanpinnan valmistamista niinkin viljavilla mailla näin yleisesti vielä sen jälkeen kun menettely on, tosin Etelä-Suomen oloissa, todettu varsin epävarmaksi (Sarvas 1949, Lehto 1956). Osittaiseksi selitykseksi voitaisiin ajatella sitä, että Pohjois-Suomen tuoreet kankaat vaikuttavat karummilta kuin Etelä-Suomen tuoreet kankaat (vrt. Lehto 1964).

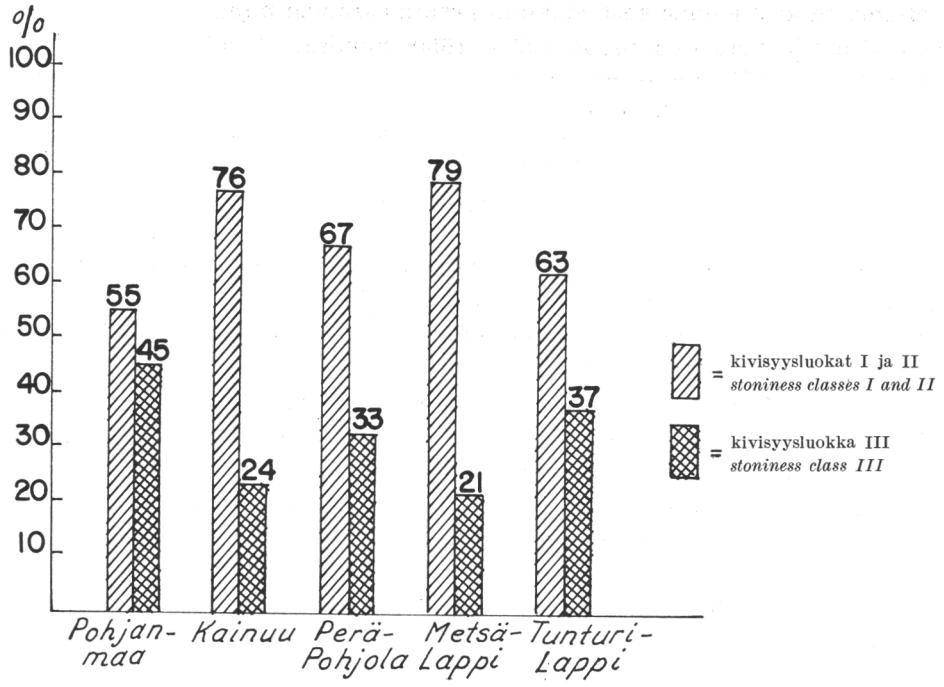
Ilvessalon (1942, taulukko 9, s. 264) mukaan kuivat, kuivahkot ja tuoreet kankaat käsittävät suunnilleen 90 % Suomen pohjoispuoliskon kivennäismaiden metsistä. Täten tutkimuksen ulkopuolelle jäi vain vähäinen



Kuva 3. Uudistusalojen jakaantuminen maalajien mukaan eri vyöhykkeissä.
Fig. 3. Distribution of the regeneration areas into different soil types.

osa kovista maista ja ilmeisesti sellainen osa (lehtomaiset kankaat ja lehdot), jolla ei männyn uudistaminen siemenpuumenetelmällä juuri tule kysymykseen.

Metsätyypin ohella selvitettiin uudistusalojen maalaji, maan kivisyys ja soistuneisuus. Uudistusalat käsittävät toisaalta hietaisia ja hiesuisia moreenimaita ja hiesumaita sekä toisaalta hiekka- ja someromaita ja karkearakeisia moreenimaita (kuva 3). Varsinaiset hiesumaat, joita esiintyi vain nimeksi, liitettiin aineiston käsittelyssä moreenimaihin. Moreeni- ja hiesumaiden yhteinen osuus on suurin Kainuun ja Peräpohjolan uudistusaloilla, kummassakin yli 90 %. Pohjanmaalla ja Metsä-Lapissa niitä on vähän yli 80 %. Tunturi-Lapissa niiden osuus on n. 75 %, joten siellä on noin neljännes uudistusaloista karkearakeisilla mailla. Moreeni- ja hiesumaiden keskimääräinen osuus koko tutkimusalueella on aineiston mukaan sekä uudistusalojen



Kuva 4. Uudistusalojen jakaantuminen kivisyysluokkiin I—II ja III eri vyöhykkeissä.
Fig. 4. Distribution of the regeneration areas of the different zones into classes I—II and III according to the degree of stoniness of the soil.

lukumäärän että pinta-alan perusteella laskettuna lähes 85 %. Aaltosen (1949, s. 75) mukaan moreenimaiden osuus on Pohjois-Suomessa 77,1 %. mutta viimeksi mainittu luku on laskettu kaikkien metsämaiden perusteella ja sitä paitsi alue on jossakin määrin toinen.

Yleispiirteinen käsitys uudistusalojen kivisyydestä saadaan kuvasta 4. Sen mukaan tutkimuskohteista kuuluu huomattava osa, keskimäärin n. 30 %, kivisyysluokkaan III (erittäin kivistä). Viron (1958) mukaan runsas kivisyys onkin tutkimusalueen kangasmetsille leimaa-antava piirre. Pohjanmaan uudistusalojen poikkeuksellisen suuri kivisyys (n. 45 % kivisyysluokkaa III) johtunee mm. siitä, että siellä on kivettömiä ja vähäkivisiä maita raivattu pelloiksi enemmän kuin pohjoisemmilla alueilla. Koealatöiden yhteydessä pantiin merkille, että nimenomaan siemenpuualat olivat usein sattuneet metsäalueiden kivisimpiin osiin. Eniten vähäkivisiä uudistusaloja on Metsä-Lapin (lähes 80 %) ja Kainuun (yli 75 %) vyöhykkeissä.

Osittainen soistuminen on tutkimusalueen kangasmailla yleistä. Eri vyöhykkeissä tavattiin merkitsevässä määrin soistumajuotteja ja -reunuksia seuraavalla määrällä uudistusaloja:

	kpl	%
Pohjanmaa	30	58.8
Kainuu	36	65.6
Peräpohjola	32	61.5
Metsä-Lappi	16	48.5
Tunturi-Lappi	9	37.5
Keskim.	(24.6)	54.4

Sillä seikalla, että kangasmaakuviot käsittävät näin yleisesti kosteikkokohtia (usein tosin niin vähäalaisia tai niin vähän varsinaisesta kangasmaasta eroavia, ettei niitä ole merkitty esim. valtion hoitoalueiden talouskarttoihin), on huomattava merkitys maan taimettumiskunnon kannalta.

Pohjois-Suomen kuivista ja kuivahkoista kankaista on olemassa rämeeseen vivahtavia alamuotoja (vrt. Lakari 1920a, s. 1). Näiden kuivuus on laadultaan fysiologista eli biologista samaan tapaan kuin on asianlaita rämeillä (Cajander 1916, vrt. Sarvas 1950). Tutkimuskohteissa tehtyjen havaintojen mukaan tietyille rämetyypeille ominainen edullisuus männyn taimettumisalustana (vrt. Heikurainen 1954) ulottuu myös näille kangasmaille. Eri vyöhykkeissä oli suurimmaksi osaksi tällaista kangasmaata käsittäviä uudistusaloja seuraavasti:

	kpl	%
Pohjanmaa	8	15.7
Kainuu	5	9.1
Peräpohjola	3	5.8
Metsä-Lappi	6	1.8
Tunturi-Lappi	—	—

Taimettumiskunto

Useilla uudistusaloilla tavattiin merkkejä ennen uudistushakkuuta tapahtuneesta laiduntamisesta. Koska tällä seikalla näyttää olevan taimistojen esiintymisen kannalta merkitystä (vrt. Lehto 1956), tehtiin laiduntamisesta merkintöjä, milloin tällaista voitiin todeta tai saatiin tietää tapahtuneen. Pohjanmaalla ja Kainuussa on karjan pito metsälaitumilla tiettävästi ollut yleistä 1940-luvun loppupuoliskolle saakka. Isot kotieläimet, kuten lehmät ja hevoset, rikkovat kulkiessaan kasvipeitettä, ensi sijassa yhtenäistä sammalpeitettä ja sen alla olevaa humuskerrosta. Jos kotieläimiä on paljon pienellä alalla, toimittavat ne perinpohjaisen maanpinnan valmistamisen. Tällaisen laiduntamisen vaikutus saattaa tuntua pintakasvillisuuden ja humuskerroksen tilassa vuosikymmeniä, varsinkin verraten laihoilla mailla (vrt. Multamäki 1916, Heikinheimo 1944).



Kuva 5. Porojen jäkälästä puhtaaksi kaluamaa alaa Tunturi-Lapissa. Taimia on päässyt kehittymään vain nimeksi. Ala 291 B. Enontekiö, Kalmankaltio. Valok. K. E. heinäk. 1965.
Fig. 5. An area in the Arctic mountain region in which the lichen has been eaten by reindeer. Only an insignificant number of seedlings have managed to develop. Sample area 291 B. Enontekiö, Kalmankaltio. Photographed by K. E.

Peräpohjolassa ja sitä pohjoisemmilla alueilla on poroilla paikoin huomattava merkitys maanpinnan rikkojina. Kesällä tallaamalla ja talvella ruokaa hakiessaan kaapimalla ne rikkovat sammal- ja jäkäläpeitettä etenkin porojen laidunaitojen vierillä ja asutusta lähellä olevilla kangasmailla. Pohjois-Suomen poronhoitoalueilta ei helposti löydä sellaisia kangasmaiden metsiköitä, joiden pintakasvillisuutta ja humuskerrosta porot eivät olisi vaurioittaneet. Toisin paikoin maanpinta on porojen oleskelualueilla vähäkasvista, jopa miltei kasvitonta (Arnborg 1955, Kalela 1961, Lehto 1964). On näin ollen ymmärrettävää, että poroilla on näillä alueilla erittäin suuri vaikutus maan taimettumiskuntoon. Repnevskin (1963) mukaan porojen laiduntaminen jäkäläkankailla 10—20 vuotta ennen uudistamiseen tähtäävää hakkuuta aiheuttaakin sen, että männyn taimia on 10—20 kertaa enemmän kuin laiduntamattomilla vastaavanlaisilla aloilla.

Kaikissa tapauksissa ei päästy varmuuteen siitä, oliko uudistusalalla liikkunut kotieläimiä.

Jossakin määrin laiduntamiseen verrattava vaikutus taimettumisen kannalta on maanpinnassa asustavien pikkunisäkkäiden ym. maaeläinten toiminnalla. Tällaisten eläinten humuskerrokseen tekemiä käytäviä havaittiin paikoin hyvin runsaasti jokseenkin kaikissa tutkimusalueen osissa. Alueella



Kuva 6. Pintakuloalalle syntynyt pääosaksi täysitiheä ja terve männyn taimisto. Ala 23 B. Veteli. Valok. K. E. huhtik. 1965.

Fig. 6. A pine seedling stand that originated in an area ravaged by surface fire and is for the most part fully stocked. Sample area 23 B. Veteli. Photographed by K. E.

yleisesti tavattavia pikkunisäkäslajeja ovat mm. pitkähäntäinen metsämyyrä (*Clethrionomys glareolus* Schr.), ruskea metsämyyrä (*Cl. rutilus* Pall.) ja harmaakupeinen metsämyyrä (*Cl. rufocanus* Sund.). Tällaiset eläimet kaivavat maan pintakerrokseen toisinaan varsin tiheitä käytäväverkostoja ja vaikuttavat siten huomattavalla tavalla maanpinnan rakenteeseen. Niinpä eläimet hävittävät pintakasvillisuuden juuristoa. Niiden kaivamilla aloilla kasvien vihreiden osien massa voi vähetä eräiden Neuvostoliitossa (vrt. S u k a t š e v 1964, s. 291) tehtyjen tutkimusten mukaan 35—52 %, jonka takia taimettumisolosuhteet paranevat. Mainitun julkaisun mukaan männikössä suoritettu inventointi osoitti, että pikkujyrsijöiden käytävien päällä kasvoi 35 % männyn taimista. Näiden tutkimusten perusteella teoksessa päätellään, että jos metsikön tiheys on alle 0.5—0.6, riippuu taimimäärä hyvin paljon jyrsijöiden kaivamasta alasta. S y s o j e v i n (1966) Kirovin alueella suorittamien tutkimusten mukaan hiirensukuisten jyrsijöiden lukumäärä on vereksillä hakkuualoilla alle 20 kpl/ha, mutta 2—3 vuotta myöhemmin — hakkuualan heinityttyä — on lukumäärä 100—170 kpl/ha. Hiirien määrä on erityisen suuri siellä, missä on paljon hakkuujätteitä. Hiekkaisilla, vettä hyvin läpäisevillä mailla hiirien lukumäärä on 2—3 kertaa suurempi kuin hiesumailla.

Kuloilla on tunnetusti huomattava vaikutus maan taimettumiskuntoon männyn uudistusaloilla (vrt Cajander 1917a). Voimakkaiden, puustonkin tuhoavien kulojen polttamilla aloilla ei kuitenkaan luonnollisesti voida usein käyttää siemenpuumenetelmää. Tutkimusaineistoon ei tällaisia siemenpuualoja sattunutkaan. Tässä yhteydessä kiinnitetään siksi huomiota erityisesti ns. pintakuloihin. Varsinkin kuivimmilla kankailla lievänkin kulon taimettumista edistävä vaikutus kestää useita vuosikymmeniä (Melehov 1949, Lehto 1956). Repnevski (1961a) mainitsee, että Kuolan niemimaan jäkälähakkuualat ovat taimettuneet erittäin hyvin sellaisilla mailla, jotka ovat palaneet 10—90 vuotta ennen hakkuuta.

Seuraavassa esitetään sellaiset kuloalat, joissa palosta oli kulunut korkeintaan noin 80 vuotta. Tämä raja valittiin siksi, että seuraavaksi vanhemmista kuloista oli kulunut aikaa yli 100 vuotta. Oheisessa asetelmassa mainitaan vyöhykkeittäin, monellako uudistusalalla havaittiin merkkejä tällaisista kuloista ja montako hehtaaria todettiin palaneeksi.

Vyöhyke	Uudistusaloja	Palanutta alaa, ha
Pohjanmaa	2	12.5
Kainuu	3	16.2
Peräpohjola	5	29.0
Metsä-Lappi	4	11.5
Tunturi-Lappi	1	7.2
Yhteensä	18	50.3

On ilmeistä, että joissakin tapauksissa merkit sattuneesta pintakulosta olivat jo niin häipyneet, että ne jäivät huomaamatta. Näin on laita varsinkin sellaisissa tapauksissa, joissa ei ole esiintynyt palokoroisia puita. Täten kulojen määrä on ehkä arvioitu hieman todellista vähäisemmäksi. Mahdollisesti havaitsematta jääneet kulot ovat kuitenkin todennäköisesti olleet vanhempia kuin asetelmassa esitetyt, joten niiden merkitys ei liene taimettumisen kannalta yhtä suuri.

Havaittujen pintakulojen ala (n. 50 ha) on uudistusalojen kokonaispinta-alasta (1 625 ha) varsin vähäinen osa. Kaikkien tutkimusalueella esiintyneiden kulojen polttaman pinta-alan suhde tutkimusalueen kangasmaiden pinta-alaan on tietenkin huomattavasti suurempi (vrt. Saari 1923, Lehmusluoto 1956). Täten kulojen merkitys tutkimusalueella on kokonaisuudessaan ilmeisesti paljon suurempi kuin nyt esitetyn aineiston perusteella näyttäisi.

Laiduntamisen, pikkueläinten toiminnan ja kulojen ohella uudistusalojen maan taimettumiskuntoon on vaikuttanut puiden kaadon, valmistuksen ja kuljetuksen yhteydessä tapahtunut maanpinnan paikoittainen rikkoontuminen. Kun näitä töitä on myös Pohjois-Suomessa tehty parin viime vuosikymmenen kuluessa melko yleisesti lumettomanakin aikana, on niillä ollut

vaikutusta tutkittujen uudistusalojen taimettumiseen. Koska kysymyksen yksityiskohtainen tutkiminen ei käynyt päinsä taimettamishakkuusta kuluneen pitkän ajan takia, ei sitä tarkastella tässä yhteydessä enempää. Todettakoon vain, että uudistusalojen valintatavan johdosta niillä metsätöiden yhteydessä tapahtunut maanpinnan rikkoutuminen edustaa suurella todennäköisyydellä tutkimusalueen keskimäärää.

Maanpinnan rikkoontumista käsiteltäessä ei ole unohdettava sitä vaikutusta, mikä uudistusalojen taimettumiskuntoon on ollut kantojen nostolla. Eräillä uudistusaloilla nähtiin merkkejä tästä toiminnasta. Kirjallisuudessa esiintyvät maininnat (esim. H e l a n d e r 1949) viittaavat siihen, että kantojen hankinta on ollut mm. viime vuosisadan loppupuolella laajalti varsin yleistä. On kuitenkin vaikea sanoa, mikä vaikutus silloisella kantojen nostolla on ollut tutkittujen uudistusalojen taimettumiseen. Sitä vastoin oli helppo todeta myöhemmin, varsinkin toisen maailmansodan aikana suoritettujen kannonnostojen taimettumista edistävä vaikutus. — Maata muokkaava vaikutus on ollut myös puilla, jotka ovat kaatuneet juurineen. Aikaisemmin, jolloin tällaiset puut jäivät yleisesti korjaamatta talteen, muokkausvaikutus oli suurempi. Nykyisin kun näin kaatuneet puut yleensä katkaistaan tyvestä laskeutuu juurakko maineen takaisin entiseen asemaansa, joten kivennäismaa ei paljastu pitkäksi aikaa. Eräillä laajoilla Sodankylän kunnassa olevilla uudistusaloilla luettiin myrskyn v. 1922 kaatamia mäntyjä, joiden kohdalta oli kivennäismaa paljastunut, 25—30 kpl/ha. Tapahtuman taimettumista edistävä vaikutus oli vielä selvästi havaittavissa. Myrskyn tuhoja käsittelevistä tilastoista käy selville, että tällaisia tuulenkaatoja sattuu varsin yleisesti kaikkialla tutkimusalueella. S i r é n (1961b, s. 32) mainitsee tuhansien hehtaarien laajuisista myrskyntuhoista Lapissa (vrt. T i r é n 1937). Muista maanpintaa rikkovista tekijöistä mainittakoon sotatoimet toisen maailmansodan aikana. Tykistötulen vaikutuksen alaisena olleet maat ja myös alueet, joilla joukkoja on ollut varsinkin kesän aikana leiriytyneinä, ovat usein osoittautuneet hyviksi taimettumisalustoiksi. Tällaisia uudistusaloja tavattiin Kainuun itäosissa ja eri osissa Lappia. Yhteenvetona voidaan sanoa, että uudistusalat ovat olleet erittäin laajalti maanpintaa rikkovien tai muokkaavien tekijöiden vaikutuksen alaisina. Useimmat näistä ovat kuitenkin sellaisia, joiden vaikutus on esiintynyt yleisenä jo vuosikymmeniä sitten ja sen jälkeen loppunut.

Maanpinnan valmistaminen laikuttamalla, auraamalla, kulottamalla tai muulla näihin verrattavalla tavalla on tutkimusalueella 1940-luvun lopussa ja 1950-luvun alussa ollut vielä niin harvinaista, ettei käytettyä inventointimenetelmää soveltaen olisi saatu aineistoon kuin jokin satunnainen uudistusala. Tästä syystä katsottiin paremmaksi jättää tämän tutkimuksen ulkopuolelle nekin uudistusalat, joilla maanpinta oli tuona ajanjaksona valmistettu ja jotka olisivat tulleet aineistoon mukaan.



Kuva 7. Kolmenlaista kasvualustaa samalla siemenpuualalla. Etualalla kuivaa, heinittymätöntä kangasta, sen takana tuoreempi, vahvasti heinittynyt juotti ja taustalla erittäin kivistä rinnettä. Ala 113 B. Pudasjärvi. Valok. K. E. syysk. 1965.

Fig. 7. Three different kinds of site types in a single seed tree area. In the foreground, a Calluna-type site with no grass, behind it, a Myrtillus-type strip heavily overgrown with grass, and in the background, a very stony slope. Sample area 113 B. Pudasjärvi. Photographed by K. E.

Maan taimettumiskuntoon välillisesti vaikuttavana tekijänä mainittakoon vielä hakkuujätteiden esiintyminen. On yleisesti tunnettua, että näillä on huomattava merkitys taimien syntymisen ja kehityksen kannalta, ja että niiden vaikutus on varsinkin laihoilla mailla yleensä edullinen. Niinpä jo eräässä vuosisadan alussa laaditussa metsähallituksen kiertokirjeessä kielletään metsään jätettävien latvusten karsiminen juuri tästä syystä (Heikel 1915). Kysymystä on tutkinut mm. Aaltonen (1919). Björkman (1948) mainitsee esimerkkejä eräistä Pohjois-Ruotsin uudistusaloista, joilla männyn taimettuminen on ollut yleensä hyvin vaikeaa, mutta karsimattomien latvusten suojassa, liekojen ja kantojen vierillä yms. paikoissa se on onnistunut hyvin. Syyksi hän mainitsee, että lumikariste ei ole tuhonnut näillä kohdin taimia, koska tällaisilla paikoilla lumipeite jää ohuemmaksi ja se sulaa pikemmin sekä syksyllä että keväällä kuin muilta kohdilta. Myös eräät Suomessa tehdyt kokeet osoittavat, että hakkuujätteillä on karuilla kangasmailla myös siementen itämistä ja taimien kehitystä jouduttava vaikutus. Itse asiassa hakkuutähteiden suojassa syntyy monesti taimia kasvualustalle, joka tuskin muuten taimettuisi ollenkaan (Vaartaja 1951, Lehto 1956). Hakkuujätteiden edullinen vaikutus taimien syntymiseen

ja kehitykseen kuivilla kankailla perustuu ilmeisesti osaksi siihen, että maan vesipitoisuus lisääntyy, mutta ne vaikuttavat taimien elinehtoihin monella muullakin tavoin (Aaltonen 1940, s. 517—522). On myös tunnettua, että metsään jäävien latvusten alle varisee usein tavallista enemmän siementä. Kuitenkin syksyllä ja varhaistalvella kaadettujen mäntyjen havut voivat seuraavana kesänä edistää sienten leviämistä männyn taimiin, jolloin nämä saattavat tuhoutua (Sjöström 1937, 1946, Lehto 1956, Štšedrova 1962).

Koska tämän tutkimuksen uudistusaloilla viimeksikin toimitetusta hakkuusta oli kulunut jopa yli 10 vuotta, ei ollut mahdollista selvittää läheskään kaikkien uudistusalojen osalta, miten suuri vaikutus metsään jätetyillä latvuksilla ja muilla havuilla oli ollut taimien syntymiseen ja kehitykseen. Kysymystä selvitettiin kuitenkin eräillä sellaisilla uudistusaloilla, joilla sen tarkasteluun oli mahdollisuuksia. Usein taimiryhmän esiintyminen alalla, jossa oli yleisesti vain niukasti taimia, antoi aiheen tarkastaa, olisiko runsastaimisessa kohdassa jätteitä esim. vanhasta latvuksesta.

UUDISTUSALOJEN PUUSTON KEHITYS

Puusto ennen uudistushakkuuta

Puuston kehityksellä ennen uudistamiseen tähtäävää paljastavaa hakkuuta on huomattava merkitys ennen kaikkea siemennyksen kannalta. Runsas siemensatohan on ensimmäisiä ja tärkeimpiä edellytyksiä tyydyttävään tulokseen pääsemiseksi männyn luontaisessa uudistamisessa. Puustolla on vaikutusta myös maan taimettumiskuntoon. Erityisesti metsikön tiheys ja puulajikoostumus ovat tässä kohden merkityksellisiä. Erityisesti runsaan kuusisekapuuston ja alikasvoksen haitallisuus männyn taimettumiselle on tunnettu (Pöntynen 1929, Aaltonen 1936, Sirén 1955, Mikola ym. 1966). Siksi katsottiin aiheelliseksi hankkia niin hyvä kuva kuin mahdollista puuston määrästä ja puulajisuhteista erityisesti juuri ennen paljastavaa hakkuuta. Metsikön kehitysvaiheista vuosikymmeniä ennen hakkuuta oli tietojen saaminen hankalaa, mutta sikäli kuin näytti mahdolliselta koottiin aineistoa myös tältä osalta.

Useimmissa tapauksissa jouduttiin kaadetun puuston selvitykset tekemään kantojen perusteella. Kun yleensä rajoituttiin tutkimaan verraten tuoreita kantoja (5—15 v. vanhoja), ei puulajin toteaminen tavallisesti tuottanut vaikeuksia. Männyn osalta saatiin läpimittakin selville melko tarkoin, mutta kuusen ja varsinkin lehtipuiden kohdalla jouduttiin tyytymään pienempään tarkkuuteen, sillä viimeksi mainittujen kannot lahoavat kovin nopeasti. Kun kaadosta on kulunut 20—25 vuotta, ovat myös havupuiden kannot yleensä siinä määrin lahonneet, että niiden mittaaminen on vaikeaa. Puulajin selvittäminen käy tavallisesti kuitenkin vielä päinsä, joten oli mahdollista tehdä arvioita siitä, mitä puulajeja näissä varhaisissa hakkuissa oli kaadettu (vrt. Sarvas 1944, s. 38). Puuston kuutiomäärän arvioiminen kantojen perusteella tapahtui Nyyssösen (1955) esittämien ohjeiden mukaan.

On huomattava, että vanhoja männyn kantoja on eräiltä alueilta hävinnyt jäljettömiin paitsi lahoamisen vuoksi myös siksi, että niitä on nostettu tervan valmistusta varten ja polttopuuksi. Tällä tavoin väheni tervaskantojen määrä melkoisesti vielä toisen maailmansodan aikana ja vähän sen jälkeen (Helander 1949, Hautala 1956, Alho 1968). Täten mäntyyn kohdistuneet varhaiset hakkuut ovat todellisuudessa olleet keskimäärin vielä voimakkaampia kuin tavattujen kantojen perusteella näyttäisi.

Yleishavaintona uudistushakkuuta edeltäneestä puusukupolvesta voidaan mainita, että se on jokseenkin poikkeuksetta syntynyt kuloalalle. Tämä on hyvin sopusoinnussa niiden havaintojen kanssa, joita Pohjois-Suomen täysi-ikäisten mäntyvaltaisten metsien syntyvaiheista on aikaisemmin esitetty (Cajander 1917a, Siréen 1961a). Yksityiskohtaiset arviot uudistushakkuussa kaadetuista puumääristä saatiin vain Pohjanmaan, Kainuun, Peräpohjolan ja Metsä-Lapin vyöhykkeistä. Tiedot näiden osalta nähdään taulukosta 4. Tunturi-Lapin uudistusalojen puustosta on vain ylimalkaisia, etupäässä kvalitatiivisia tietoja. — Huomattava merkitys tutkimuksen kannalta on kuutiomäärän ohella myös kaadettujen puiden lukumäärällä, josta saatiin käsitys kantoluetteloiden perusteella. Näihin merkittiin myös mahdollisen pienpuuston kannot, joten tämän tiheydestä ja puulajisuhteista saatiin seikkaperäinen käsitys.

Taulukosta 4 käy selville, että uudistusaloilta keskimäärin kaadettu puusto on ollut verraten vähäinen (alueen eteläosissa 35—54 m^3/ha, pohjois-osissa 15—31 m^3/ha). Esim. Sarvaksen (1949, s. 11) tutkimilta Etelä-Suomen siemenpuualoilta paljastavassa hakkuussa kaadetut puumäärät olivat keskimäärin kanervatyypillä n. 111 m^3/ha, puolukkatyypillä 107 m^3/ha ja mustikkatyypillä 122 m^3/ha. Täten viimeksi mainituilta uudistusaloilta on kaadettu keskimäärin yli kaksinkertainen kuutiomäärä pohjoissuomalaisiin uudistusaloihin verrattuna. Tärkeimpänä syynä tähän suureen eroon on epäilemättä se, että Etelä-Suomea käsittelevässä tutkimuksessa aineisto on tarkoituksellisesti valittu metsistä, joita on käsitelty ennen uudistushakkuuta määrätietoisesti valtapuustoa säästävin alaharvennuksin. Pohjois-Suomen aineistossa taas on enimmäkseen sellaisia uudistusaloja, joilla varhaisemmat hakkuut ovat kohdistuneet myös valtapuustoon. Tästä johtuen siellä on jäljelle jääneiden metsiköiden runkoluku tosin saattanut olla edelleen varsin suuri, mutta kuutiomäärä on jäänyt pieneksi. Monessa tapauksessa pieneen kuutiomäärään on ollut syynä myös se, että alun perin runsaasti koivusekapuustoa käsittävästä metsiköstä on koivua poistunut vähitellen luontaisesti, eräissä tapauksissa myös kaulaamisen seurauksena. On myös huomattava, että Pohjois-Suomen tutkimuskohteet ovat keskimäärin huomattavasti kivisempiä kuin mainitut Etelä-Suomen vertailualat ja kivisyys tietysti vaikuttaa puuston kuutiomäärään (Viro 1947, s. 72). Pohjois-Suomen metsät ovat yleisestikin keskimäärin harvempia, vähemmän puisevia kuin Etelä-Suomen (Ilvessalo 1960).

Kaadetun puuston kuutiomäärä ja sen jakautuminen eri puulajien osalle ei vielä anna täyttä käsitystä poistetun puuston rakenteesta. Lisäksi on tarpeen tuntea puiden jakautuminen läpimittaluokkiin. Puuttumatta kysymykseen tarkemmin todettakoon vain yleisesti, että tutkituilta uudistusaloilta uudistamiseen tähtäävässä hakkuussa kaadettu puusto on ollut valta-osaltaan mittojen puolesta ohutpuu- ja pinotavaraluokkaa. Vaikka poistetut

kuutiomäärät ovat olleet keskimäärin vähäisiä, on kaadettujen puiden lukumäärä kantoluetteloiden mukaan ollut yleisesti 200—400 kpl/ha, jopa yli 1 000 kpl/ha. Tämän määrän lisäksi tulee uudistusalan raivauksessa poistettu aivan pienikokoinen puu, jota ei ole luettu yksin puin. Useimmiten tämä pienimittainen puu on ollut kuusta ja koivua, varsinkin koivun vesoja. Kuutiomääriin perustuvassa puulajisuhteiden erittelyssä pienet puut eivät saa läheskään niin suurta painoa kuin niiden metsänhoidollinen merkitys edellyttäisi. Taimettumisen kannalta niiden vaikutus saattaa olla suurempi kuin tukkipuuston. Viitattakoon vain alikasvoskuusten (esim. Pöntynen 1929, Aaltonen 1936, Mikola ym. 1966) ja koivun vesojen vaikutukseen (Sarvas 1950, s. 28—29). Näin ollen uudistushakkuu on kaadettujen puiden vähäisestä kuutiomäärästä huolimatta ollut metsikön tilaan varsin voimakkaasti vaikuttava toimenpide. Useassa tapauksessa se on epäilemättä ollut metsikön ekologisten olojen kannalta jopa merkityksellisempi kuin toistuvin harvennuksin käsitellyssä männikössä toimitettu siemenpuuhakkuu, vaikka viimeksi mainitussa poistettu kuutiomäärä olisikin suurempi.

Uudistusaloilta raivattu pienimittaisin puusto, alikasvos, on huomionarvoinen myös sikäli, että eräissä tapauksissa pääteltiin sen poistamisen olleen virheellinen toimenpide, koska siinä olisi ollut ainesta uudeksi puusukupolveksi. Tätä kysymystä tarkastellaan lähemmin taimistojen metsittämisarvon yhteydessä.

Seuraavassa käsitellään uudistushakkuuta edeltäneen puuston kehitystä vyöhykkeittäin.

Pohjanmaa. — Taulukon n:o 4 nojalla voidaan ennen hakkuuta vallinneista puulajisuhteista päätellä, että Pohjanmaalla kuivat kankaat ovat olleet enimmäkseen puhtaita männiköitä. Hakatusta puumäärästä on näet ollut mäntyä keskimäärin noin 90 %. Uudistusalojen pinta-alasta on puhtaita männiköitä ollut yli 70 % ja loppukin ala on ollut pääosaksi mäntyvaltaista. Kuusen osuus kaadetusta kuutiomäärästä on ollut vain noin 4 % ja koivun noin 5 %. Uudistusaloilta tavatuista vanhoista kannoista päätellen kuivien kankaiden uudistusalat ovat olleet jo siemenpuustoa edeltäneen puusukupolven aikana useimmissa tapauksissa jokseenkin puhtaita männiköitä.

Kuivahkoilla kankailla on kuusen osuus kaadetun puuston kuutiomäärästä (keskimäärin 35 %) ollut selvästi suurempi kuin kuivilla. Koivun määrä on ollut sama (5 %) kuin kuivilla kankailla. Likimain puhtaita männiköitä on ollut 20 % uudistusalojen lukumäärästä. Kuivahkojen kankaiden uudistusalat ovat useita vuosikymmeniä aikaisemmin olleet — vanhoista hakkuiden jäljistä päätellen — yleensä joko puhtaita tai koivun sekaisia männiköitä. Kuusen osuus on vuosikymmenien kuluessa tullut jatkuvasti suuremmaksi — nähtävästi etupäässä juuri mäntyyn kohdistuneiden hakkuiden jouduttamana.

Taulukko 4. Uudistushakkuussa poistetut puumäärät viljavuusluokittain Pohjanmaan, Kainuun, Peräpohjolan ja Metsä-Lapin vyöhykkeissä sekä puhtaan mäntymetsän osuus uudistusalojen pinta-alasta. Mukana myös erikoisalat.

Table 4. Amounts of wood removed in regeneration cutting, by bonity classes, in the zones of Pohjanmaa, Kainuu, Peräpohjola and Metsä-Lappi. The proportion of pure pine forest.

Vyöhyke *Zone*	Uudistusaloja, kpl *Number of regeneration areas*	Uudistushakkuussa poistetut puumäärät. Suluissa ääriarvot. *Amounts of wood removed in regeneration cutting. Variation range in parentheses.*				Puhtaita männiköitä ennen hakkuuta, % uudistusalojen pinta-alasta *Pure pine forest before cutting, % of the total regeneration area studied*
		m³/ha *cu.m. per ha*	mänty *pine* %	kuusi *spruce* %	koivu *birch* %	
		Kuivahkot kankaat — *Calluna-type sites*				
Pohjanmaa	10	35 (15—58)	91 (48—100)	4	5	70
Kainuu	13	45 (9—101)	70 (26—100)	25	5	55
Peräpohjola	10	47 (12—77)	96 (66—100)	4	0	90
Metsä-Lappi	20	31 (8—74)	98 (86—100)	1	1	100
		Kuivahkot kankaat — *Vaccinium-type sites*				
Pohjanmaa	27	45 (11—124)	60 (6—100)	35	5	20
Kainuu	24	54 (10—115)	57 (11—100)	36	7	20
Peräpohjola	20	50 (18—164)	60 (8—100)	30	10	40
Metsä-Lappi	6	22 (28—33)	73 (54—100)	13	14	80
		Tuoreet kankaat — *Myrtillus-type sites*				
Pohjanmaa	13	50 (14—113)	40 (1—82)	45	15	1
Kainuu	17	35 (10—80)	46 (16—80)	42	12	0
Peräpohjola	22	50 (8—122)	60 (13—100)	30	10	35
Metsä-Lappi	7	15 (12—18)	92 (79—100)	0	8	75

Tuoreilla kankailla kuusta on ollut kaadetun puuston kuutiomäärästä keskimäärin 45 %, siis enemmän kuin mäntyä, jota on ollut 40 %. Koivua on poistetun puun kuutiomäärästä ollut 15 %. Uudistusalojen pinta-alasta on vain n. 1 % ollut puhdasta männikköä. Useimmissa tapauksissa uudistamisen lähtökohtana on siis ollut sekametsä. Kymmeniä vuosia vanhojen suurten männyn kantojen runsauden perusteella voitiin päätellä, että myös tuoreiden kankaiden uudistusaloilla on puusto ollut aikaisemmin melko paljon mäntyä käsittävää. Puhtaita männiköitä on tuskin kuitenkaan esiintynyt. Metsien yleisen kehityksen kulku tällaisilla paikoilla on näet se, että kulon jälkeen nousee männyn ohella usein runsaastikin lehtipuustoa, mutta tämän määrä vähenee nopeasti (C a j a n d e r 1916, S i r é n 1955).

K a i n u u. — Taulukosta n:o 4 ilmenee, että Kainuussa on kuusen osuus kaadetun puuston kuutiomäärästä ollut kuivilla kankailla noin 25 %, kuivahkoilla kankailla 36 % ja tuoreilla kankailla 42 %. Koivua on ollut vastaavasti 5, 7 ja 12 %. Puhdasta männikköä ei ole ollut kuivillakaan kankailla kuin runsaasti puolella uudistusalojen pinta-alasta, kuivahkoilla kankailla 20 % ja tuoreilla kankailla kaikkien uudistusalojen koko pinta-ala on ennen hak-

kuuta ollut sekametsää. Kuusettuminen on siis tämän aineiston valossa ehtinyt Kainuussa karuillakin mailla varsin pitkälle ja mänty on vastaavasti vähentynyt. Kainuun metsien pitkälle ehtineeseen kuusettumiseen lienee useita syitä. Pitkäaikaisen ja voimaperäisen tervatalouden takia siellä on kulutettu suuria määriä mäntypuuta (H a u t a l a 1956). Kaskenpoltto on kyllä ollut yleistä, mutta se on rajoittunut pienille aloille (H e i k i n h e i m o 1915), joten se ei ole edistänyt Kainuussa mäntyvaltaisten metsien syntymistä läheskään samassa laajuudessa kuin useilla muilla seuduilla. Metsäpalot eivät ole olleet kovin yleisiä ja laajoja ilmaston suuren humidisuuden, ehkä osittain myös kulojen leviämistä rajoittavien maastosuhteiden takia. Täten tulen männyn yleistymistä edistävä vaikutus on jäänyt vähäiseksi. Kasvukauden korkea humidisuus lienee jo sinänsäkin edistänyt kuusettumista, samoin talvien lumisuus (K a l e l a 1956).

P e r ä p o h j o l a. — Taulukon n:o 4 mukaan eivät Peräpohjolan uudistusalojen puustot ole olleet kokonaiskuutiomäärältään alhaisempia kuin eteläisempien vyöhykkeiden. Tämä lienee selitettävissä siten, että Peräpohjolan osalta aineisto käsittää runsaammin tiheään toistuneilta harsinnanluontoisilta hakkuilta säilyneitä metsiä, osaksi jopa sellaisia, jotka on vasta muutamia vuosia ennen tutkimusajankohtaa saatu uusien teiden ansiosta normaalien hakkuiden piiri¹n. Hakkuussa poistetussa puustossa on sekapuulajien määrä ollut kuivilla kankailla keskimäärin vain 4 %, kuivahkoilla kankailla 40 % ja tuoreilla kankailla samoin 40 %. Kuivilla kankailla ovatkin puhtaat männiköt olleet vallitsevia (100 %) ja niitä on ollut melko runsaasti kuivahkoilla (80 %), vieläpä tuoreillakin kankailla (75 %).

Myös S a r v a k s e n (1950) harsintametsiä käsittelevässä aineistossa ovat Peräpohjolan kuivat kankaat (varpu-jäkälätyyppi) jokseenkin puhtaita männiköitä ja aikaisemmista hakkuista päätellen ne ovat olleet kauan sellaisia. Kuivahkoilla kankailla (variksenmarja-mustikkatyypillä) hänen aineistossaan on sekä likimain puhtaita männiköitä että sekametsiä. Kasvupaikasta riippumatta ei alun perin puhtaiden männiköiden kohdalla ollut tapahtunut sanottavia muutoksia puulajisuhteissa useiden vuosikymmenien kuluessa. Sitä vastoin mänty-kuusisekametsiköissä havaittiin huomattavaa sekapuulajien osuuden lisääntymistä. Tähän kehitykseen lienee vaikuttanut ratkaisevasti se, että näistä metsistä oli poistettu sitä enemmän mäntyä mitä varhaisemmasta hakkuusta oli ollut kysymys. Tätä osoittaa seuraava mainitun julkaisun perusteella laadittu asetelma, josta käy selville kolmena eri ajanjaksona hakattujen puumäärien jakaantuminen eri puulajien osalle.

	1892—1910	1910—1930	1934—1948
mäntyä	74 %	68 %	30 %
kuusta	19 %	20 %	45 %
koivua	7 %	12 %	25 %

Tämän perusteella näyttää selvältä, että kyseessä olevat sekametsät ovat sisältäneet mäntyä aikaisemmin huomattavasti enemmän kuin tutkimusajankohtana. Huomattakoon kuitenkin, että Sarvaksen aineisto käsittää pitkäaikaisen käytön piirissä olleita yksityismetsiä, kun taas tämän tutkimuksen aineistossa on mukana viime aikoihin saakka verraten koskemattomana olleita metsiä (vrt. myös Alho 1968).

Myös käsillä olevan tutkimuksen yhteydessä tehtiin havaintoja varhaisista hakkuista Peräpohjolassa. Tällöin todettiin, että tutkituilla aikaisemmin sekametsää kasvaneilla uudistusaloilla olivat vuosikymmenien takaiset hakkuut kohdistuneet pääasiallisesti tai yksinomaan mäntyyn.

Metsä-Lappi. — Metsä-Lapissa on puusto ollut laajoilla alueilla likimain luonnontilassa vielä myöhempään kuin Peräpohjolassa. Metsä-Lapissa on myös laajalti suojametsäalueita, joiden puuston käsittelyssä on noudatettu erityistä varovaisuutta.

Metsä-Lapin uudistusaloja koskevien mittaustulosten (taulukko 4) perusteella voidaan todeta, että kuivilla kankailla puusto on ollut ennen hakkuuta kauttaaltaan puhdasta männikköä. Todennäköisesti mänty on ollut niillä hyvin kauan vallitsevana. Kuusen ja koivun osuus hakatusta puumäärästä on ollut keskimäärin 1 %:n vaiheilla, siis jokseenkin merkityksetön. On kuitenkin todennäköistä, että koivua on ollut metsien varhaisimmassa kehitysvaiheessa runsaammin, mutta sen osuus on puuston varttuessa supistunut (Aaltonen 1919, Sarvas 1950).

Kuivahkoilla kankailla on pääosa (noin 80 %) uudistusaloista ollut puhtaita männiköitä, mutta joitakin mänty-kuusi-koivu sekametsiä on esiintynyt. Viimeksi mainittujen uudistusalojen metsät ovat ilmeisesti yleensä syntyneet koivunsekaisina, jopa koivuvaltaisina, mutta kuten kuivilla kankailla, koivun osuus on vähitellen supistunut.

Tuoreilla kankaillakin on kaksi kolmasosaa uudistusalojen pinta-alasta ollut likimain puhdasta männikköä. Sekapuusto on ollut jokseenkin pelkästään koivua (8 %). Kuusen osuus on ollut niin vähäinen, ettei se tule esiin puutavaramääriä ilmaisevissa luvuissa. Kuitenkin todettiin, että aivan pientä kuusipuustoa on esiintynyt vähäinen määrä.

Tunturi-Lappi. — Tunturi-Lapin alueelta ei luonnollisesti voitu odottaa löydettävän sanottavasti varsinaisia siemenpuualoja, sillä tällä alueella on mäntyvaltaisia metsiä kaiken kaikkiaankin alle 10 % kasvullisen metsämaan alasta, ja kasvullista metsämaata on siellä alle 10 % koko maa-alasta (Ilvessalo 1960, kartat 2 ja 17). Tältä alueelta ei varsinaisia siemenpuualoja löydettykään. Kuitenkin tavattiin mäntyä kasvavia aloja, joissa metsä oli tullut lehtipuuosuuden vähenemisen, myrskyntuhojen, hakkuiden tms. syyn takia niin harvaksi, että se muistuttaa siemenpuustoa. Monessa tapauksessa mäntypuusto lienee ollut jo alun perin niin harvaa, että se on ollut verrattavissa siemenpuustoon. Tällaisia aloja löydettiin 20.

Lisäksi tavattiin neljä sellaista mäntyaluetta, jotka eivät täyttäneet asetettuja vaatimuksia, mutta joilla voitiin tehdä eräitä havaintoja männyn luontaisesta uudistumisesta.

Esitetty katsaus tutkittujen uudistusalojen puuston kehitykseen ennen uudistushakkuuta viittaa siihen, että näillä suoritetut uudistushakkuut eivät harvoja poikkeuksia lukuunottamatta ole olleet varsinaisia hoidettujen metsien siemenpuuhakkuita, vaan useimmiten ehkä jonkinlaisia harsintametsien kunnostushakkuun ja siemenpuuhakkuun välimuotoja. Joka tapauksessa näiden hakkuiden tavoitteena on ollut männyn luontainen uudistaminen menetelmällä, joka muistuttaa siemenpuumenetelmää niin paljon kuin olosuhteet ovat sallineet.

Siemenpuustot

Siemenpuustolla tarkoitetaan seuraavassa sitä puustoa, joka uudistusalalle on jätetty uudistamiseen tähtäävässä hakkuussa tai siihen rinnastettavassa toimenpiteessä. Ellei tällaista ole toimitettu, kuten on laita eräillä pohjoisimmilla uudistusaloilla (tai paremminkin uudistumisaloilla), nimitetään sitä puustoa siemenpuustoksi, joka tutkimusalalla on ollut noin 10 vuotta ennen tutkimusajankohtaa. Tässä yhteydessä on syytä korostaa, että uudistusalan siementyminen ei läheskään aina ole ollut näin määritellyn siemenpuuston varassa, vaan usein siihen on osallistunut myös osa siemenpuuhakkuussa kaadettua puustoa, joskus lisäksi reunametsän puusto, jopa alikasvostaimetkin. Asiaan palataan tuonnempana siemensadon yhteydessä.

Siemenpuustoista selvitettiin puiden lukumäärä hehtaaria kohden, ikä, pituus, latvuksen pituus ja latvuksen rehevyys. Tavoitteena oli ensi sijassa saada käsitys siemenpuustojen siementämisedellytyksistä. Kasvututkimuksia ei yleensä suoritettu. — Kuten mm. tekijä on aikaisemmin korostanut, ei pelkästään tällaisten siemenpuustoon kohdistuvien mittausten tuloksena ole mahdollista saada täsmällistä käsitystä sen tuottamista siemenmääristä. Nämä voivat näet vaihdella varsin paljon ulkoasultaan samanlaistenkin puustojen osalta (L e h t o 1956). Yleisluontoisia päätelmiä siemenpuuston kelpoisuudesta voidaan kuitenkin pelkästään puita koskevien mittausten perusteellakin tehdä.

Siemenpuiden lukumäärä

Siemenpuiden lukumäärällä on merkitystä uudistamisen onnistumiselle kahdella päätavalla. Ensinnäkin se vaikuttaa mm. siemensadon suuruuteen, sadon vuotuiseen vaihteluun ja sen jakautumiseen uudistusalan eri osiin

(Lehto 1956 ja 1957). Toiseksi siemenpuiden lukumäärä vaikuttaa taimien kasvunopeuteen (Lehto 1956). Tämän tutkimuksen ulkopuolelle on jätetty kysymys siemenpuuston tuotosta uudistamisvaiheen aikana, jolla myös on merkityksensä uudistamistoimenpiteen onnistumista tai tarkoituksenmukaisuutta arvosteltaessa. Kysymystä ovat tutkineet mm. Sarvas (1949) ja Hagner (1962).

Koska taimettamishakkuusta oli kulunut useimmiten yli 10 vuotta, on ymmärrettävää, että kaikilla uudistusaloilla ei ollut enää tutkimusajankohtana ainakaan koko siemenpuustoa jäljellä. Monelta uudistusalalta oli kaikki siemenpuut kaadettu, kuten seuraavasta asetelmasta selviää. Kaato oli tapahtunut useimmiten 2—5 vuotta ennen tutkimusajankohtaa. Eri vyöhykkeissä siemenpuita oli kaadettu seuraavasti:

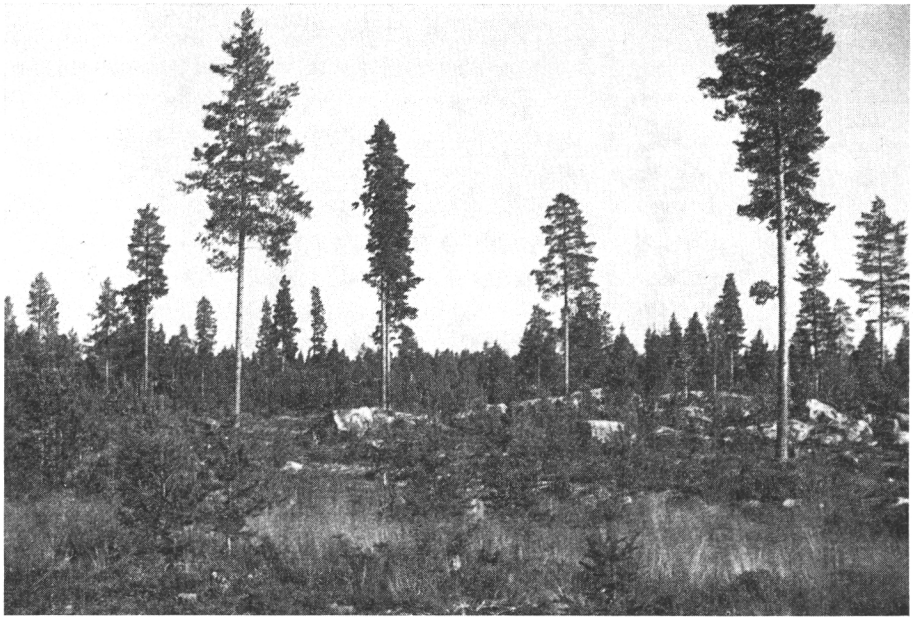
	Siemenpuut kaadettu		Siemenpuita jäljellä		Uudistusaloja yhteensä
Pohjanmaa	30	uudistusalalta	18	uudistusalalla	48
Kainuu	15	»	39	»	54
Peräpohjola	12	»	39	»	51
Metsä-Lappi	7	»	25	»	32
Tunturi-Lappi	—	»	24	»	24
Yhteensä	64		145		209

Siemenpuut oli yleensä kaadettu kaikesta päättäen siksi, että uudistumisen oli katsottu jo tapahtuneen. Milloin vain joitakin siemenpuita oli kaadettu, näytti syynä olleen yleensä puiden vioittuminen mm. myrskyn tai lumituhon johdosta.

Siemenpuiden alkuperäinen lukumäärä onnistuttiin selvittämään kaikilla uudistusaloilla. Useissa tapauksissa voitiin kantojen läpimitan ja reunametsien puuston perusteella tehdä päätelmiä kaadettujen siemenpuiden koostakin.

Välittömästi uudistushakkuun jälkeen siemenpuustot ovat jakautuneet lukumäärän perusteella vyöhykkeittäin seuraavasti:

	alle 20 kpl/ha	20—50 kpl/ha	yli 50 kpl/ha	Uudistusaloja yhteensä
Pohjanmaa	20	19	9	48
Kainuu	21	26	7	54
Peräpohjola	14	20	17	51
Metsä-Lappi	7	13	12	32
Tunturi-Lappi	8	11	5	24
Yhteensä	70	89	50	209
%	33	43	24	



Kuva 8. Siemenpuustoa (30 kpl/ha) Ala 113 B. Pudasjärvi. Valok. K. E. syysk. 1965.
Fig. 8. Seed trees numbering 30 per hectare. Sample area 113 B. Pudasjärvi. Photographed by K. E.

Ryhmässä alle 20 kpl/ha oli puiden lukumäärä useimmissa tapauksissa 15—20 kpl/ha. Ryhmässä yli 50 kpl/ha oli varsinaisia siemenpuita useimmiten 50—75 kpl/ha. Mm. kannoista ja reunametsistä tehdyt havainnot viittaavat siihen, että varsinkin ryhmässä alle 20 kpl/ha siemenpuiden vähyys on johtunut yleensä siitä, ettei kelvollisiksi katsottuja puita ole metsikössä ollut tarjolla enempää. Useimmiten näin on ollut laita sellaisilla tuoreilla ja kuivahkoilla kankailla, joilla on kasvanut runsaasti sekapuulajeja. Sitä vastoin kuivilla kankailla tarjolla olevien mäntyjen lukumäärä on harvoin ollut rajoittavana tekijänä; puiden huono laatu tai pieni koko ovat kyllä tällöinkin joissakin tapauksissa pakottaneet tyytymään vähäiseen siemenpuumäärään. Toisaalta ryhmän yli 50 kpl/ha puista on yleensä osa sellaisia, jotka on jätetty muussakin kuin siementämistarkoituksessa, esim. siksi, että ne olivat olleet taimentamishakkuun ajankohtana siirtymässä arvokkaampaan läpimittaluokkaan. Siten tämän ryhmän uudistusaloista voitaisiin osa lukea ryhmään 20—50 kpl/ha, jonka osuus täten tulisi vielä merkitsevämmäksi.

Näyttää siis siltä, että uudistushakkuissa on siemenpuita jätetty yleensä niin paljon kuin edes välttävästi tarkoitukseen sopivia puita on ollut tarjolla; puita olisi yleensä jätetty runsaammin, jos sopivia yksilöitä olisi metsikössä ollut enemmän.



Kuva 9. Kuivahkon kankaan (VT) siemenpuuala. Siemenpuut harsuja hakkuun (1952—53) jälkeen, ytimennävertäjän tuhoja. Kosteassa notkossa runsaasti koivua. Ala 31 B. Reisjärvi. Valok. K. E. huhtik. 1965.

Fig. 9. Vaccinium-type seed tree area. Crowns of the seed trees are open after cutting (1952—53); injuries inflicted by Blastophagus sp. A profusion of birches in a moist dell. Sample area 31 B. Reisjärvi. Photographed by K. E.

Mainittakoon vertauksen vuoksi Sarvaksen (1949, s. 16) Etelä-Suomen siemenpuualoilta lukemat siemenpuiden keskimäärät hehtaaria kohden: kanervatyypillä 64 kpl, puolukkatyypillä 75 kpl ja mustikkatyypillä 77 kpl. Nämä Etelä-Suomen siemenpuualat ovat siis olleet selvästi tiheämpiä kuin Pohjois-Suomen siemenpuualat.

Siemenpuuston tiheydellä on tärkeä merkitys uudistusalan siementymisen kannalta. Tiheydeltään erilaisten männiköiden siemennyskykyä käsittelevät tutkimukset osoittavat, että tavallisissa Etelä-Suomen männiköissä runkoluvun ollessa 100—200 kpl/ha on metsikön keskimääräinen siemennys runsaimmillaan (Lehto 1957, Sarvas 1962). Runkoluvun jäädessä alle 100 kpl/ha siemensato vähenee jyrkästi, kun taas runkoluvun ylittäessä noin 200 kpl/ha rajan siemensato vähenee hitaammin. Näin ollen näyttää siltä, että siementämiskykyisten puiden määrä hakkuun jälkeen on ollut melkein säännöllisesti vähäisempi, monessa tapauksessa huomattavasti vähäisempi kuin runsain mahdollinen siemensato edellyttäisi.

Männyn taimien kehitys siemenpuualoilla on yleensä sitä nopeampaa, mitä harvempi puusto on. Nyt kyseessä olevien uudistusalojen enimmäkseen

varsin harvalukuiset ja huonokuntoiset siemenpuut eivät ole voineet haitata taimien kehitystä sanottavassa määrin (vrt. L e h t o 1956).

Siemenpuita mitattaessa kiinnitettiin huomiota myös niiden sijaintiin uudistusaloilla. Tällöin kävi selville, että jätettyjen puiden keskinäinen sijainti oli määräytynyt jokseenkin säännöllisesti sen mukaan, miten metsikön sopivimmat puut sattuivat sijaitsemaan.

Ikä

Siemenpuuston ikä luettiin yleisesti käytettyyn tapaan kannoista tai kairaamalla saaduista tyvilustoista. Kannonkorkeusikään lisättiin tavanomainen arvioitu luku, jotta päästiin likimain todelliseen ikään. Eteläisemmissä vyöhykkeissä siemenpuiden iän vaihtelu kunkin uudistusalan piirissä oli verraten vähäinen, pohjoisimmissa vyöhykkeissä vaihtelua oli varsin paljon. Eri uudistusalojen välillä esiintyi huomattavia eroja, varsinkin pohjoisimmissa vyöhykkeissä. Nuorimmat siemenpuustot tavattiin Pohjanmaalta (keskim. 105 v., vaihteluväli 90—130 v.). Kainuussa puusto oli vain hiukan vanhempaa (keskim. 110 v., vaihteluväli 90—160 v.). Näiden alueiden osalta siemenpuiden ikä on likimain samaa luokkaa kuin on tavattu Etelä-Suomen siemenpuualoilla (S a r v a s 1949, s. 11), keskimäärin vähän alhaisempi. Peräpohjolan alueella siemenpuustojen keskimääräinen ikä eri uudistusaloilla vaihtelee enemmän (vaihteluväli 90—250 v.) ja keskimääräinen ikä on selvästi korkeampi (140 v.). Metsä-Lapissa vaihteluväli on 120—250 v. ja keskimääräinen ikä 170 v. Tunturi-Lapin osalta hajonta on vielä suurempi. Vanhimpien aineistoon sattuneiden siementävien puustojen ikä oli noin 200 vuotta.

Puuston iän merkitykseen siemennyksen kannalta palataan tuonnempana. Todettakoon kuitenkin jo tässä yhteydessä, että koska siemenpuustojen keski-ikä joitakin tutkimusalueen pohjoisosien puustoltaan vanhimpia uudistusaloja lukuun ottamatta on ollut 100—150 vuoden vaiheilla, jona ikäkautena männyn tiedetään olevan hyvin siementämiskykyinen, ei puuston ikä sinänsä ole yleensä ollut luontaisen uudistamisen esteenä. A z n j e v'in 1960 Valkovenäjällä suorittamien tutkimusten mukaan mänty tuottaa runsaasti hyvälaatuista siementä puolukkatyypin *(Pinetum vacciniosum)* mailla ainakin 240 vuoden ikään saakka.

Erityisesti Peräpohjolan, Metsä-Lapin ja Tunturi-Lapin uudistusalojen siementymisen kannalta on myös huomattava, että varttuneimmat ennen hakkuuta syntyneet taimet ovat siemennyskykyisiä. Joissakin tapauksissa tavattiin tätä ilmiötä myös Pohjanmaan ja Kainuun uudistusaloilla. Hakkuualojen siementymiseen pohjoisilla seuduilla männyn taimien välityksellä on kiinnittänyt huomiota mm. R e p n e v s k i (1961c).

Pituus

Oheisesta asetelmasta nähdään tutkimusajankohtana jäljellä olleiden siemenpuustojen keskipituudet eri vyöhykkeissä ja erilaisilla kasvupaikoilla.

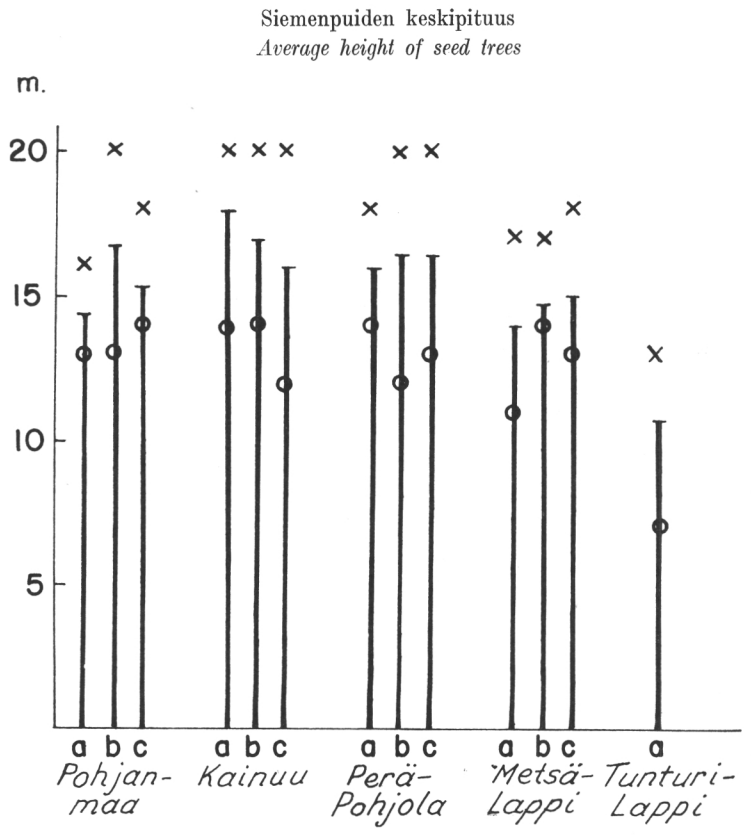
	Kuivat kankaat	Kuivahkot kankaat	Tuoreet kankaat
Pohjanmaa	14.3	16.8	16.4
Kainuu	17.0	18.0	16.0
Peräpohjola	16.0	16.4	16.5
Metsä-Lappi	14.8	15.0	14.0
Tunturi-Lappi	10.6	11.0	11.0

Kun verrataan siemenpuuston keskipituutta sulkeutuneen metsikön valtapituuteen, voidaan tehdä joitakin päätelmiä siemenpuiden laadusta. Silmäys lähinnä vastaavien alueiden luonnonnormaalien männiköiden valtapituuteen (Ilvessalo 1920 ja 1937) tuo esiin, että esitetyt siemenpuustojen keskipituudet ovat tutkimusalueen etelä- ja keskiosissa selvästi lyhyempiä kuin luonnonormaalien männiköiden valtapituus. Ero on Pohjanmaan ja Kainuun alueilla kuivien ja kuivahkojen kankaiden osalta 3—5 m, tuoreilla kankailla enemmän. Peräpohjolassa ja Metsä-Lapissa ei kuivien ja kuivahkojen kankaiden osalta ole niin suurta eroa, mutta tuoreilla kankailla ovat luonnonnormaalit männiköt 3—4 m pitempiä. Tunturi-Lapin osalta siemenpuustojen pituudet vastannevat sikäläisten luonnonnormaalien männiköiden valtapituuksia.

Etsittäessä syitä mainittuihin eroihin tulee ensimmäisenä esiin puuston käsittelytapa. Pohjanmaan ja Kainuun vyöhykkeissä tukkipuun harsintojen jäljet tuntuvat voimakkaimpina, sillä siellä metsät ovat olleet kauan tiheästi toistuneiden valtapuustoon kohdistuneiden hakkuiden alaisina. Näin ollen siellä ei ole ollut jäljellä siemenpuustoksi soveliasta kookasta mäntyä. Pohjoisemmilla alueilla metsät ovat olleet hakkuiden kohteina paljon harvemmin viime vuosikymmeniin saakka. Kun säännölliset hakkuut on näissä metsissä aloitettu, ei tukkipuunharsinta ole enää ollut vallitseva hakkuutapa.

Luonnonnormaalien kangasmaan männiköiden valtapituus on tunnetusti yleensä sitä suurempi, mitä viljavampi kasvupaikka on. Edellä olevan asetelman mukaan taas siemenpuustojen osalta asia on melkeinpä päinvastoin. Tähän on selityksenä se, että viljavimmilla siemenpuualoilla mäntypuuston osuus on yleensä ollut kovin vähäinen ennen siemenpuuasentoon johtavaa hakkuuta, joten puiden valintaan ei ole juuri ollut mahdollisuuksia, ja tarjolla olevat puut ovat metsien aikaisemman käsittelyn johdosta olleet etupäässä lyhyitä.

Siihen, että tutkitut siemenpuustot ovat keskimäärin lyhyempiä kuin luonnonnormaalien männiköiden valtapituus, on muitakin syitä. Niinpä havaintojen mukaan myrskyt ovat kaataneet pisimpiä siemenpuita. Edelleen



Kuva 10. Siemenpuiden keskipituus. Pylväät osoittavat vyöhykkeittäisiä keskipituuksia, × uudistusalojen suurimpia keskipituuksia ja ○ uudistusalojen pienimpiä keskipituuksia. a = kuivat kankaat, b = kuivahkot kankaat ja c = tuoreet kankaat.

Fig. 10. Average height of seed trees. Columns indicate regional average heights, × indicates greatest average heights of regeneration areas, and ○ the smallest average heights of regeneration areas. a = Calluna-type site, b = Vaccinium-type site, and c = Myrtillus-type site.

on huomattava, että siemenpuualat käsittävät enemmän kivisiä ja liikaveden vaivaamia maita kuin luonnonnormaalien metsien tutkimiseen käytetyt koealat, ja tällaisilla epäsuotuisilla kasvupaikoilla puusto jää lyhyemmäksi kuin »normaaleilla» kasvupaikoilla.

Latvuksen pituus

Latvuksen suhteellinen pituus eri alueilla käy ilmi seuraavasta asetelmasta.

	Latvuksen pituusluokka				Suhteellinen pituus keski-määrin	Yht. aloja
	25—45 %	45—65 %	65—85 %	85 %		
Pohjanmaa	8	13	2	—	50 %	23
Kainuu	3	31	9	—	55 %	43
Peräpohjola	5	31	10	—	55 %	46
Metsä-Lappi	—	12	13	1	65 %	25
Tunturi-Lappi	—	—	24	—	75 %	24

Tämän mukaan latvuksen suhteellinen pituus on pohjoisemmilla alueilla keskimäärin suurempi kuin eteläisemmillä. Aineisto on niin vähäinen, ettei kasvupaikkojen mukainen ryhmittely käy mahdolliseksi. Toisaalta kasvupaikkojen väliset erot näyttävät yleensä olevan vähäisemmät kuin puuston erilaisesta sulkeutuneisuudesta johtuvat (Lönnroth 1925, Sarvas 1949, Nyyssönen 1954). Kun metsät ovat Pohjois-Suomessa keskimäärin harvempia kuin Etelä-Suomessa, tuntuvat mainitut mittaustulokset vastaavan verraten hyvin metsien yleistä latvussuhdetta tarkasteltavana olevilla alueilla.

Mitä pitempi latvus puilla on, sitä paremmat edellytykset on yleensä runsaaseen siementuotantoon. Täten latvuksen suurempi suhteellinen pituus tasoittanee hieman sitä eroa, mikä esiintyy puiden pituudessa eteläisten ja pohjoisten alueiden välillä.

Pohjoisimmilla alueilla puiden latvukset ovat usein saaneet kehittyä jo ennen siemenpuuhakkuuta niin vapaassa tilassa, että paikallisiin olosuhteisiin katsoen runsas siementuotanto on ollut jo tällöin mahdollinen. Näin ollen hakkuu ei ole siellä aiheuttanut metsikön rakenteeseen niin suurta muutosta kuin etelämpänä.

Koska puut ovat Pohjois-Suomessa keskimäärin merkitsevästi lyhyempiä kuin Etelä-Suomessa, jää oksattoman rungonosan pituus ensiksi mainitussa pienemmäksi. Mainittakoon, että Ilvessalon (1920 ja 1937) mukaan luonnonnormaalin männikön valtapituus 100 vuoden iällä on

	CT—ErClT	VT—EMT	MT—EVT
Etelä-Suomessa	18.9	23.2	26.8
Peräpohjolassa	11.8	15.7	18.7

Jos Etelä-Suomessa latvuksen pituus on VT:llä esim. 40 %, merkitsee tämä 13.9 m:n oksatonta runko-osaa. Peräpohjolassa latvusprosentin ollessa 60 jäisi oksatonta runkoa vain 6.3 m.

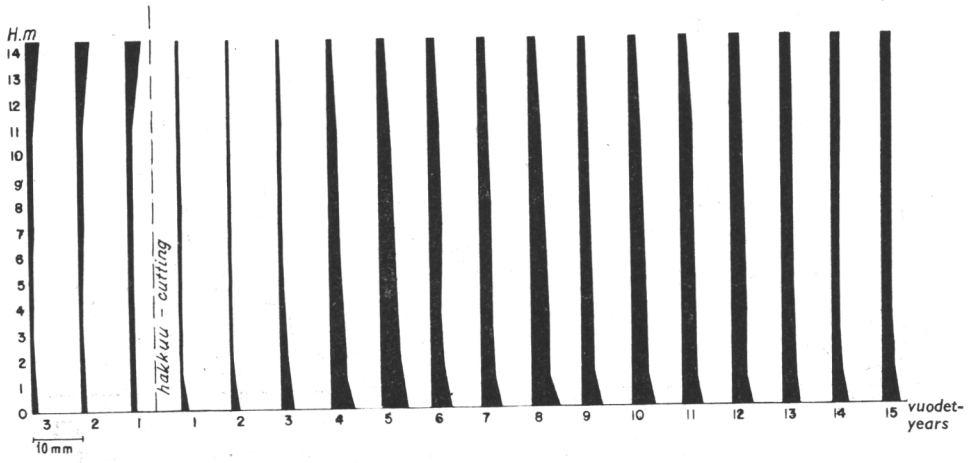
Siementuotanto

Siemenpuuston siemensato on yleensä välittömästi paljastavan hakkuun jälkeen pienimmillään mm. puiden kasvureaktion vaikutuksesta, ja varsin yleisesti samaan aikaan tapahtuvien ytimennävertäjien (*Blastophagus* spp)



Kuva 11. Myrskyn tuhoa siemenpuualalla. Kivalo, Rovaniemen mlk. Valok. K. E. heinäk. 1966.
Fig. 11. Storm damage in a seed tree area. Kivalo, Rovaniemi rural commune. Photographed by K. E.

latvuksiin kohdistuvien tuhojen johdosta (vrt. S a r v a s 1944, s. 82—84, T r ä g å r d h 1939). Mainittu kasvureaktio johtuu puun ympäristötekijöiden jyrkästä muuttumisesta hakkuun takia. Niinpä tuulen vaikutuksen lisääntyessä aiheutuu pienten juurten repeytymiä, jotka vaikeuttavat puun veden ja ravinteiden saantia. Latvuksen alaosien ns. varjoneulasisto ei kykene yhteyttämään tehokkaasti täydessä valossa, jonka takia se uusiintuu vähitellen ns. valoneulasistoksi. Samaan aikaan tapahtuu juuriston ja rungon tyviosien voimakasta vahvistumista sekä juuriston voimistumista (L e h t o 1948, V a a r t a j a 1951). Jossakin määrin tapahtunee lisäksi kaadettujen puiden juuristojen siirtymistä siemenpuiden käyttöön (Y l i - V a k k u r i 1953). Tämä assimilaatio- ja juurisysteemin tehostamisilmiö kestää muutaman vuoden. Vasta sen tapahduttua alkaa siementuotannossa ilmetä hakkuun aikaansaamien myönteisten tekijöiden vaikutus, helpottunut ravinnonsaanti ja lisääntynyt lämpö ja valaistus. Näiden tapahtumien vaikutus kuvastuu varsin selvästi mäntysiemenpuun paksuuskasvussa (kuva 12). Talvihakkuun jälkeisenä keväänä puut kuitenkin siementävät yleensä saman verran kuin vastaavanlaiset puut hakkaamatta pidetyssä saman metsikön osassa, ellei esiinny merkitseviä tuhoja. Kukkiminen näet tapahtuu jo kaksi vuotta ennen siemenen varisemista, jonka takia hakkuulla ei ole vaikutusta ensimmäisen hakkuun jälkeisen kevään puukohtaiseen siemensatoon. Hak-



Kuva 12. Kaavakuva mäntysiemenpuun vuosiluston paksuudesta rungon eri osissa kolmena vuotena ennen hakkuuta ja 15 vuotena sen jälkeen. Kasvu elpynyt vasta kolmantena hakkuun jälkeisenä vuonna.

Fig. 12. Diagram of width of annual ring in different parts of the trunk of Scots pine, measured over a period of three years prior to and 15 years after regeneration cutting. Rate of growth did not increase until the 3rd year after cutting.

kuuta seuraavina 3—4 vuotena siemensato vähenee verrattuna vastaavanlaisiin metsikön puihin. Siihen ovat huomattavana syynä puun heikon ravinnetilanteen ohella myös ytimennävertäjien aiheuttamat kasvaintuhot, joiden johdosta juuri sellaisten latvuksen yläosassa olevien kasvainten määrä vähenee, joissa siementä voisi parhaiten muodostua. Kasvaintuhot vuorostaan hidastavat puun ravinnetilanteen paranemista. Tämän epäsuotuisan jakson jälkeen siementuotanto alkaa voimakkaasti lisääntyä, tullen paljon suuremmaksi kuin ennen hakkuuta (Morosov 1928, Heikinheimo 1937, Kuzmin 1961, Lehto 1956, Dekatov 1961). Ero puukohtaisessa siementuotannossa sulkeutuneen metsikön ja jo toipuneiden siemenpuualan puiden välillä on erityisen suuri heikkona satovuonna. Arkangelin alueen metsissä, jotka ovat tutkimusalueeseen rinnastettavissa, on tällöin tavattu jopa 9-kertaisia eroja siemensadossa (Aleksejev ja Moltsanov 1938, ks. myös Heikinheimo 1937, s. 13—15).

Siementämiskyvyn puukohtaisiin eroihin on useita muitakin syitä. Niinpä puuyksilöt ovat tässä suhteessa epäilemättä perinnöllisesti erilaisia. Toisaalta siemennyksessä näyttää esiintyvän jonkinlaista jaksottaisuutta esim. siten, että tietty puu siementää niukasti jonakin kehityskautenaan, mutta runsaasti toisena. Lapissa tämä ilmiö tunnetaan myös siinä muodossa, että sama puu tuottaa jaksottain toisinaan jokseenkin yksinomaan hedekukintoja, toisinaan runsaammin emikukintoja. Tähän on Suomessa jo Renvall (1912) kiinnittänyt huomiota, ja useat vastaavanlaisilla alueilla Neuvostoliitossa toimineet tutkijat mainitsevat samasta ilmiöstä.

Hakkuun jälkeiseen siemensatoon vaikuttaa tietysti myös se, ovatko pystyyn jätetyt puuyksilöt runsaasti vai niukasti siementäviä. Kirjoittajan (L e h t o 1956) mukaan Etelä-Suomen siemenpuualojen puuyksilöiden siementämiskyvyssä on huomattavia eroja. T i m o f e j e v i n (1959) mukaan eräällä Arkangelin alueen 96 mäntyä käsittävällä 1/4 ha:n suuruisella koealalla neljä satoisinta puuta tuotti noin 38 % koko siemensadon painosta ja 48 satoisinta puuta 95 % koko sadosta.

Kasvureaktionsa läpikäynyt siemenpuusto tuottaa edellä esitetyn mukaan siementä huomattavasti tasaisemmin vuodesta toiseen kuin sulkeutunut metsikkö, vaikka kokonaistuotannossa ei olisikaan eroa. Hakkuualalle jätetyn puun mukautumisajan pituuteen vaikuttaa mm. puun suhteellinen koko (latvuskerros) ja metsikön tiheys ennen hakkuuta. Mitä pienempi puu on kysymyksessä ja mitä laajempi on metsikkö, sitä hitaampaa on toipuminen (L e h t o 1948). Tähän vaikuttaa suuresti myös ytimennävertäjien määrä. Lisäksi tiheänlaisesta metsästä vapautetut männyt tuottavat aluksi käpyjä vain melko suppealla latvuksensä yläosalla, joten siemensato on tästäkin syystä vähäinen. — Kuten tunnetaan, sopeutuvat siemenpuut hakkuun jälkeisiin olosuhteisiin ja samaten lisäävät siementuotantoaan nopeammin, jos ne ovat verraten nuoria (alle 100 v.) kuin vanhoina (yli 150 v.; vrt. D e k a t o v 1961). Nyt tutkittavana olevia siemenpuualoja tarkasteltaessa käy selville, että sellaisissa tapauksissa, joissa siemenpuut on vapautettu verraten voimakkaalla hakkuulla (eräillä Pohjanmaan ja Kainuun uudistusaloilla) siemenpuusto on ollut nuorta. Niillä aloilla, joilla puusto on ollut vanhaa, se on jo ennestään ollut varsin harvaa.

Edellä on kuitenkin käynyt ilmi, että eräillä nyt tutkituilla uudistusaloilla paljastuvassa hakkuussa poistetut puumäärät ovat olleet vähäisiä. Lisäksi on hakattu puutavara ollut pienimittaista sekä osaksi kuusta ja koivua, joiden kaataminen ei ole lisännyt ytimennävertäjäkantaa. Varsinkin laihoilla mailla kuusi on yleensä ollut keskimäärin mäntyä huomattavasti pienimittaisempaa. Tämä merkitsee sitä, että siementämään jätettyjen mäntyjen kasvureaktio on ainakin tässä vaiheessa ollut lievä ja latvustuhot ovat olleet vähäiset; usein mäntyjen mukautuminen väljään tilaan on näillä uudistusaloilla tapahtunut jo varhaisempien hakkuiden vaikutuksesta. Kun lisäksi puiden latvukset ovat täten olleet jopa alimpia eläviä oksia myöten alttiina täydelle auringon valolle, on pääosa latvusta ollut jo ennen uudistushakkuuta valmis siementuotantoon. Tällaisilla uudistusaloilla ovat taimettumiseen tähtäävää paljastavaa hakkuuta edeltäneet hakkuut olleet jonkinlaisia valmistushakkuita, vaikkei niitä liene sellaisiksi tarkoitettu.

On huomattava, että vaikka siementämään jätetyt puut harvoin ovat olleet alkuperäisen metsikön valtapuita, eivät ne välttämättä ole olleet huonoja siementämään. Tiedetään, että usein melko pienikokoiset ja lyhytlatvuksiset männyt hakkuun jälkeen toivuttuaan siementävät runsaammin kuin

selvästi järeämmät puut (vrt. Lehto 1956, Dekatov 1961); Sarvas (1950, s. 43) on kiinnittänyt huomiota Peräpohjolan harsintamänniköiden odottamattoman runsaaseen siemennykseen. Myös tämän tutkimuksen yhteydessä tehdyt maahan pudonneiden käpyjen arviot osoittavat väljään tilaan saatettujen pienikokoistenkin mäntyjen voivan siementää varsin runsaasti. Näin ollen on ymmärrettävissä, että siementuotanto viimeksi mainitun kaltaisilla uudistusaloilla on ollut heti uudistushakkuun tapahduttua runsaampi kuin kasvupaikan, puuston tiheyden ja koon puolesta vastaavanlaisilla, mutta tiheähköistä metsiköistä vapautetuilla siemenpuualoilla.

Siemensadon määriä ei luonnollisesti voitu mitata. Mutta siementävästä puustosta saatuja mittaustuloksia, erilaisten puustojen siementämiskyvystä ennestään olevia tietoja, tutkimusajankohtaa edeltäneiden vuosikymmenien sääoloja sekä yleisiä siemenvuosia tarkastelemalla voitiin tehdä päätelmiä uudistusalojen todennäköisestä siementymisestä.

Aikaisempien tietojen (Sarvas 1962 s. 157) mukaan männyn siemensato on yleensä sitä runsaampi, mitä viljavampi on kasvupaikka. Nyt tutkituilla uudistusaloilla puuston vähälukuisuus ja siementämiskyvyn kannalta heikko kunto aiheuttivat sen, että harvoja poikkeuksia lukuun ottamatta viljavien uudistusalojen siementyminen ei ole ollut ainakaan parempi kuin karujen (vrt. Sarvas 1950, s. 69).

Pohjanmaan ja Kainuun osalta saadaan siemensadon arvioimiseksi jonkinlaista tukea Sarvaksen (1949 ja 1962) ja kirjoittajan (Lehto 1956) Etelä-Suomea koskevista luvuista. Kanervatyypin siemenpuualoilla on näiden mukaan keskimääräinen vuotuinen siemensato noin 20 kpl/m² ja puolukkatyypin noin 50 kpl/m² lajittelematonta siementä. Heikomman puustor ja epäedullisemman ilmaston takia ovat siemensadot Pohjanmaalla ja Kainuussa vähäisemmät, mutta ne muutamat arviot, jotka tämän tutkimuksen yhteydessä tehtiin maahan pudonneiden käpyjen perusteella, viittaavat siihen, ettei erolla ole paljonkaan merkitystä siemenen kokonaismäärään. Itävyys on tietysti sitä huonompi, mitä pohjoisemmasta ja korkeammalla sijaitsevasta seudusta on kysymys.

Peräpohjolan osalta saadaan tietoja Sarvaksen (1950, s. 30—44) harsintamänniköitä koskevasta tutkimuksesta. Sen mukaan siemensato on kuivan kankaan männiköissä keskimäärin 14 kpl/m² ja kuivahkon kankaan männiköissä 10 kpl/m² vuodessa itämiskelpoista siementä. Ilmeisesti puuston heikommuudesta johtuen siemensato on tullut pienemmäksi viljavammalla kasvupaikalla.

Metsä-Lapissa ja varsinkin Tunturi-Lapissa siemensadot ovat olennaisesti pienempiä ja siemenvuodet harvinaisia. Tämä käy helposti ymmärrettäväksi tarkasteltaessa oheisen kuvan esittämiä kasvukauden keskilämpöjä. Sarvas (1962) on esittänyt näiden vyöhykkeiden siemensadoista mittaustuloksia, jotka vahvistavat asian. Täten näillä alueilla, erityisesti korkealla sijaitse-

villa uudistusaloilla siemensadon vähyys on ehkä luontaisen uudistamisen käyttöä rajoittava tekijä. Niinpä männyn pohjoisella metsänrajalla keskimääräinen vuotuinen siemensato on tutkimuskautena ollut tuskin suurempi kuin 1 kpl/m² itävää siementä (S a r v a s 1962). Siemensadon vuotuisella keskimäärällä ei kuitenkaan ole näillä pohjoisilla seuduilla samaa merkitystä kuin etelämpänä. Metsänrajaseuduilla siemensadot esiintyvät lämpiminä ilmastojaksoina jonkinlaisina sarjoina, ja tällaisen sarjan keskimääräinen siemensato voi olla melko runsaskin (vrt. M i k o l a 1952, s. 24—25). Näiden siemenvuosisarjojen välillä saattaa olla vuosikymmenien pituisia osittaisten tai täydellisten katovuosien jaksoja. Kuvassa s. 21 Utsjoelta esitettyjen säätietojen mukaan näyttäisi Tunturi-Lapissa olleen jokseenkin kaikki tutkimuskauden vuodet täydellisiä katovuosia, kun taas Metsä-Lapissa on ollut mahdollisuuksia siemenen tuleentumiseen (esim. Ivalon ja Kittilän sääaseman mukaan). Kun metsien kiertoaika näillä pohjoisilla alueilla on hyvin pitkä (I l v e s s a l o 1937) ja metsät ovat täysikasvuisina kovin harvoja, voitaneen uudistamisaika venyttää tarvittaessa huomattavasti pitemmäksi kuin eteläisemmillä alueilla.

Reunapuuston siemennys

Erityisesti Pohjanmaan, Kainuun ja Peräpohjolan osalta on otettava huomioon se mahdollisuus, että yritettäessä uudistaa mäntyä saadaankin kuusivaltainen taimisto. Tämä mahdollisuus on tietenkin yleensä sitä suurempi, mitä runsaammin on siementämiskykyistä kuusimetsää uudistusalan tuntumassa. Silmäys kuusivaltaisten metsien yleisyyttä valaisevaan karttaan (esim. I l v e s s a l o 1960) osoittaa, että tässä kohden esiintyy huomattavaa alueittaista vaihtelua. Nyt kerätyn aineiston nojalla on tilaisuus tarkastella kysymystä yksityiskohtaisemmin uudistusaloittain. Oheisesta asetelmasta nähdään missä määrin uudistusalat rajoittuvat puhtaisiin mäntymetsiin ja miten yleisesti ympäröivä alue käsittää merkitsevässä määrin kuusisekapuustoa.

	Puhtaita mänty-alueita %:ssa uudistus-aloja	Kuusiseka-puustoa	Uudistus-aloja yhteensä
Pohjanmaa	30 %	46	48
Kainuu	24 %	59	54
Peräpohjola	30 %	53	51
Metsä-Lappi	82 %	8	32
Tunturi-Lappi	—	0	24

Todetaan, että sellaiset uudistusalat, joilla ei ole havaittu käytännöllisesti katsoen ollenkaan kuusipuustoa läheisyydessä, käsittävät varsin suuren osan

koko aineistosta. Puhtaita mäntyalueita (pääosaksi kuivia kankaita) on vajaa kolmannes uudistusalojen lukumäärästä Pohjanmaan ja Peräpohjolan vyöhykkeissä, kun taas Kainuussa niitä on vain neljännes. Tämä tulos on yhtäpitävä niiden toteamusten kanssa, joita edellä on useassa yhteydessä esitetty Kainuun metsien kuusivaltaisuudesta. Kuten odottaa sopii, on puhtaiden mäntyalueiden määrä Metsä-Lapissa (yli 80 % uudistusaloista), selvästi suurin. Tunturi-Lapin osalta puhtaiden mäntyalueiden määrän esittäminen ei vastaisi tarkoitustaan.

Siementämiskykyisten kuusten olemassaolo uudistusalan tuntumassa ei tietysti merkitse sitä, että uudistusalalle välttämättä tulisi kuusen siementä merkittävässä määrin. Ensinnäkin kuusen siemenvuodet ovat koko tutkimusalueella ylen harvinaisia, ja siemensadot jäävät varsinkin alueen pohjoisosissa vähäisiksi (S a r v a s 1962). Toiseksi siemenen leviämisetäisyys on poikkeustapauksia lukuun ottamatta melko pieni, joten laajoilla uudistusaloilla vain reunaosiin tulee siementä mainittavasti (vrt. P ö n t y n e n 1929). Sitä vastoin pienten uudistusalojen ryhmässä (alle 3 ha) koko ala voi siementyä reunametsistä.

Männyn siemennystä ei reunametsistä yleensä näyttänyt olevan odotettavissa. Vain harvoissa tapauksissa esiintyi siementämiskykyistä männikköä enemmän kuin 1/4 uudistusalan ympärysmitasta. Kun uudistusalat sitä paitsi ovat monesti hyvin laajoja, ei reunametsän siemennyksellä voi männyn osalta olla sanottavaa merkitystä, sillä männyn siemen ei tunnetusti leviä kovin kauas.

Koivun siementä sitä vastoin leviää runsaasti reunametsistä. Jokseenkin kaikissa tapauksissa, joissa reunametsä käsittää kuusta, on mukana myös koivua. Useimmiten sitä on myös männiköiksi merkityissä metsissä sekapuuna.

Tutkimuskohteiden puuston kehityksen tarkastelu osoittaa, että metsien käsittely uudistamiseen tähtäävää päähakkuuta edeltäneenä aikana on koko tutkimusalueella erittäin suuressa määrin heikentänyt männyn luontaisen uudistamisen mahdollisuuksia siten, että hyvin siementämään kykenevän ja geneettisesti ihmisen kannalta korkeatasoisen mäntypuuston määrä on käynyt kauttaaltaan vähäiseksi. Rinnan männyn vähenemisen kanssa on kuusen määrä lisääntynyt, mikä seikka on edelleen vähentänyt männyn luontaisen uudistamisen käyttömahdollisuuksia. Ratkaiseva käänne parempaan puuston käsittelytavoissa havaitaan tutkituilla uudistusaloilla tapahtuneen enimmäkseen vasta 1940-luvun loppupuolella.

UUDISTUSALOJEN TAIMISTOT

Taimistojen kuvaaminen

Kysymys taimiksi luettavien puiden pituuden ylärajasta on avoin. Yleispätevästä mitasta tuskin voidaan sopiakaan, sillä yhteen tarkoitukseen käy tietty rajapituus paremmin kuin toiseen. Eri tutkijat ovatkin käyttäneet erilaisia ylärajoja. Niinpä Aaltonen (1919, s. 108) on lukenut enintään 1.5 m korkeat puut taimiksi. Sarvas (1949, 1950) on katsonut taimiksi 1.3 m:ä pienemmät puut sekä ne suuremmat, jotka liittyvät edellisten kanssa yhteen siinä määrin, että niiden voidaan katsoa myöhemmin sulautuvan ensiksi mainittujen kanssa samaksi kerrokseksi eli jaksoksi. Koska tällainen liukuva pituuden yläraja näyttää soveltuneen hyvin muissakin taimistomittauksissa käytettäväksi (esim. Lehto 1956), katsottiin se soveliaaksi myös tämän tutkimuksen tarkoituksiin. — Pohjoismaisen Metsäunionin ehdotuksen mukaan taimistoksi (plantskog) katsotaan metsä, jossa valtapuiden ja lisävaltapuiden keskipituus on alle 1.3 m.

Kun on kysymys taimien lukumäärän arvioimisesta taimiston metsittämisarvoa silmällä pitäen, asetetaan yleensä myös metsittämiskelpoisten taimien pituuden alaraja. Sarvas (1944, 1948, 1949, 1950) on yleensä jättänyt alle 0.1 m:n pituiset taimet huomioon ottamatta tarkastellessaan taimiston metsittämisarvoa, sillä näiden lukumäärä vaihtelee vuodesta toiseen suuresti ns. uudistumisvuosien mukaan. Tällaisten sääsuhteiltaan suotuisien hyvien siemenvuosien jälkeen näitä taimia, ns. taimiainesta, on usein hyvinkin runsaasti, kun taas välivuosina niiden määrä voi supistua miltei olemattomaksi. Toiset tutkijat ovat suhtautuneet pieniin taimiin vielä epäilevämmin; tällöin taimiaineksen korkeuden ylärajaksi on asetettu 0.2 m. Erityisesti Pohjois-Suomen oloissa pienimpien taimien toimeentulo on varsin epävarmaa (Siré n ym. 1958), josta syystä ainakaan 0.1 m pienemmälle taimiainekselle ei ole syytä antaa läheskään yhtä suurta metsittämisarvoa kuin kookkaammille taimille. Toisaalta ei ole sanottua, säilyvätkö esim. 0.2 m pitkät taimet elossa ratkaisevasti varmemmin kuin 0.1 m pitkät. Siksi katsottiin tarkoituksenmukaiseksi käyttää samaa taimiaineksen pituuden ylärajaa (0.1 m) kuin aikaisemminkin, mutta taimien metsittämiskelpoisuuden arvostelu suoritettiin toisin. Niinpä tässä tutkimuksessa ei asetettu ehdotonta metsittämiskelpoisten taimien pituuden alarajaa, vaan pituuden ohella kiinnitettiin



Kuva 13. Hyväkasvuista ja tervettä taimistoa Peräpohjolan vyöhykkeessä. Kasvupaikka on kivistä kuivahkoa kangasta. Ala 162 B. Rovaniemen mlk. Valok. K. E. syysk. 1965.

Fig. 13. A sound and vigorous seedling stand in the far north zone. Stony Vaccinium-type site. Sample area 162 B. Rovaniemi rural commune. Photographed by K. E.

huomiota myös taimien elinvoimaisuuteen sekä lähiympäristössä olevan taimiston osan vallitsevaan korkeuteen. Jos taimi oli terve ja elinvoimainen (varsinkin, jos viimeinen latvakasvain neulasineen oli vankka) ja lähitaimisto matalaa, hyväksyttiin se, vaikka pituus olisi jäänyt alle 0.1 m:n. Jos taas ympärillä oleva taimiston osa oli suhteellisen korkeaa, oltiin pituusvaatimuksessa ankaralapia. Taimiston edelleen kehittyessä pienellä taimella ei näet ole ajan oloon riittäviä toimeentulon edellytyksiä, jos sen tuntumassa kasvaa huomattavasti kookkaampia tai nopeammin kehittyviä taimia. Yleensä siis katsottiin taimen kehityskelpoisuus ympäröivä taimisto huomioon ottaen ensi sijassa ratkaisevaksi.

Olisi epäilemättä virhe jättää taimiaines kokonaan huomioon ottamatta, vaikka tämän pituusraja olisikin vain 0.1 m. Ainakin sellainen harvahko matala taimisto, johon on odotettavissa täydennystä runsaasta taimiaineksesta, on parempi kuin muuten samanlainen taimisto, josta taimiaines puuttuu. Tästä syystä myös pienten taimien esiintymisrunsaudesta tehtiin merkintä, johon voitiin myöhemmin nojautua punnittaessa rajatapauksissa taimiston metsittämisarvoa. Vastaavasti meneteltiin kookkaampien vioittuneiden taimien kanssa. Kummassakin tapauksessa taimet otettiin huomioon puolin määrin (vrt. Vilikainen ja Kuznetsova 1965).

Taimien metsittämiskelpoisuutta arvioitaessa kiinnitettiin lisäksi huomiota siihen, oliko taimi ohittanut seudun keskimääräisen lumen maksimikorkeuden. Lumipeitteen korkeuden selvästi ohittaneilla taimilla on näet paremmat edelleen kehittymisen mahdollisuudet kuin pienemmillä, joita tuhoutuu varsinkin lumikaristeen *(Phacidium infestans* Karst.), hyönteistuhojen ym. syiden takia (Aaltonen 1919, s. 271—285, Kujala 1935, s. 123, Björkman 1948, Moroz 1964). Metsä-Lapissa ja varsinkin Tunturi-Lapissa on nuorten metsienkin tuhonalttius varsin suuri (vrt. Mikola 1958), minkä takia tähän kysymykseen kiinnitettiin niiden kohdalla erityistä huomiota.

Taimien pituusjakaantumisen ohella taimiston tiheys ja ryhmittyminen eli sijainti uudistusalalla ovat tärkeitä tunnuksia. Tiheyden ja tasaisuuden arvioiminen kytkeytyvät läheisesti yhteen. Niiden arvioimiseksi on erilaisia menetelmiä. Useimmat tutkijat ovat käyttäneet joko linjoittaista tai ruuduittaista arviointia, joskus näiden yhdistelmää (Sarvas 1944, s. 22, 1948, s. 31, 1949, s. 9). Strand (1954) pitää sopivimpana menetelmänä etäisyyden mittausta tietyistä pisteistä lähimpiin taimiin (vrt. Greig-Smith 1964, s. 49—51). Verrattaessa tarjolla olevia menetelmiä päädyttiin meillä ennestään eri muodoissa käytettyyn ruuduittaiseen arviointiin. Myös Norjassa (Braathe 1966) ja Ruotsissa (Kungl. Skogsstyrelsen 1966) on äskettäisissä laajamittaisissa inventoinneissa käytetty tätä arvioimistapaa.

Ruudun koko on useissa meikäläisissä tutkimuksissa ollut 1 m^2. Tämä lieneekin tarkoituksenmukainen silloin, kun taimistolta vaaditaan suuri tiheys, jotta sitä voitaisiin pitää tyydyttävänä. Siten se näyttää sopivalta varsinkin taimiaineksen määrän selvittämiseen, samoin kuin pintakasvillisuustutkimuksiin (Sarvas 1944). Jos taas arvioitavat taimet ovat saavuttaneet melko suuren koon ja ne sijaitsevat uudistusaloilla epätasaisesti, on ainakin taimien lukumäärän selvittämiseksi ilmeisesti suurempi ruutukoko suositeltavampi.

Näyttää siltä, että ainakin joissakin tapauksissa pienten ruutujen käyttö johtaa tuloksiin, jotka ovat todellisia taimilukuja suurempia. Taimien lukija näet ottaa helposti mukaan sellaisia ruudun rajaviivan lähellä olevia taimia, jotka todellisuudessa ovat juuri ja juuri rajan ulkopuolella. Unohdamme näet maastossa usein sen, että arvioimistyön tavoitteena on taimien lukumäärän selvittäminen, eikä mahdollisimman suuren taimimäärän saaminen lomakkeelle. Varsinkin kun taimia on vähän tai ei ollenkaan sellaisessa kohdassa, johon arvioimisruutu sattuu, ja jokin taimi on kovin lähellä rajaviivaa, mutta kuitenkin sen ulkopuolella, on suuri houkutus kuvitella, että se on sittenkin ruudun sisäpuolella. Varsinkin väsyneenä arviomies merkitsee helposti tuollaisen taimen lomakkeelleen, jotta hän voisi tuntea saaneensa jotakin »hyödyllistä» aikaan (vrt. Ghent 1963). Vaikka arvioimisruudun koolla ei

esim. Strandin (1957) mukaan ole teoreettisesti katsoen sanottavaa merkitystä arvioimisen tarkkuuden kannalta, aiheuttaa inhimillinen tekijä sen, että todellisuudessa ruudun koko sittenkin helposti pääsee siihen vaikuttamaan.

On selvää, että mitä suurempia ruudut ovat, sitä harvemmin sattuu tällaisia »houkuttelevia» rajatapauksia. Huomattakoon myös, että ympyrää käytettäessä rajaviivaa on vähemmän kuin käytettäessä neliötä.

Toisaalta on ilmeistä, että pienestä ruudusta on helpompi havaita taimet kuin suuresta. Erityisesti tämä koskee pienehköjä, kookkaan pintakasvillisuuden joukossa sijaitsevia taimia. Täten taimien lukumäärän arvioimiseen on olemassa optimikokoinen ruutu, joka kuitenkin on erilainen taimiston laadun mukaan. — Ennen arvioimistyön aloittamista testattiin taimienlukijan huomiokyky, sillä kirjoittajan tekemien havaintojen mukaan arvioimismiesten yksilölliset erot havaintokyvyssä ovat niin suuret, että ainakin laajahkon, vaikeissa oloissa toimitettavan arvioinnin tulosten luotettavuus on enemmän riippuvainen työn suorittajien ominaisuuksista kuin käytetyistä menetelmistä.

Sopivinta ruutukokoa ei ratkaise yksinomaan ruudun sopivuus taimien lukumäärän arvioimiseen, sillä tavoitteena on myös hankkia tietoja taimien ryhmittymisestä tai paremminkin taimettoman alan määrästä ja sijainnista uudistusalalla. Tältä kannalta sopivimman ruudun kokoa on tarkasteltu kirjallisuudessa laajalti. Kysymyksen teoreettista taustaa on selostanut mm. Greig-Smith (1964). Nesterov (1949) on käyttänyt eri suuruisia ruutuja (1 m^2, 4 m^2, 25 m^2 jne.) taimiston kehitysasteen mukaan. Megalinski (1963) on tehnyt vertailuja 5 m^2:n ja 10 m^2:n suuruisten ruutujen välillä. Toisin kuin Nesterov hän ei pidä tarpeellisena käyttää erilaista menettelyä taimiston kehitysasteen mukaan. Vilikainen ja Kuznetsova (1965) ja Vilikainen (1966) pitävät alle 20 m^2:n laajuisia aukkoja ja alle 3 m:n levyisiä kaistoja luonnon taimistoissa sellaisina, jotka eivät kaipaa täydennysviljelyä. Ne ovat tulevan metsikön »valoaukkoja». Siksi he ovat kiinnittäneet taimistor ryhmittymisen arvioinnissa erityistä huomiota tätä suurempien aukkojen toteamiseen.

Kysymyksen teoreettisen tarkastelun perusteella päädyttiin käsillä olevaa tutkimusta silmällä pitäen siihen, että arvioimisruudun koko ei ole ratkaisevan tärkeä, ja että toisaalta pelkästään ruutumenetelmällä ei ole mahdollista saada taimiston metsittämisarvosta tyhjentävää käsitystä. Kompromissina erilaisista, osittain vastakkaisista vaatimuksista päädyttiin yhdistettyyn menetelmään, jossa taimet luettiin 5 m^2:n suuruisilta ympyröiltä ja muita tietoja koottiin tarpeen mukaan piirroksin, valokuvin ja sanallisin selostuksin. Lisäksi oli tukena taimettomien ympyröiden sijainti taimienlukulomakkeessa.

Tällainen yhdistetty menetelmä on tarkoituksenmukainen kyseessä olevan tutkimuksen tarpeisiin. Niinpä tällä tavoin paljastuvat ne erot, jotka ilmenevät taimien ryhmittymisessä toisaalta esim. sellaisella pintakuloalalla, jolla maan taimettumiskunto ja uudistusalan siementyminen on tasaisesti hyvä, toisaalta hakkuualoilla, joilla taimia on esim. vanhojen juontoreittien, karsimattomien latvusten yms. kohdilla. Hakkuun vaikutuksesta rikkoutuneelle maalle ja hakkuutähteiden suojaan syntyneiden taimien ryhmittymisessä esiintyy erityisen selvänä ilmiö, josta käytetään nimitystä contagion (G h e n t 1963, G r e i g - S m i t h 1964). Tämä jää helposti ottamatta lukuun käytettäessä pelkästään ruutumenetelmään perustuvaa arviointia, mutta selostettu monipuolisempi taimiston kuvaaminen tuo ilmiön esiin.

Teoreettisesti saadaan sitä tarkempi taimien lukumäärän arvioimistulos, mitä useammalta ympyrältä uudistusalaa kohden taimet luetaan, ts. mitä suurempi on arvioimisprosentti. Tarkoitukseen riittävän arvioimistarkkuuden selvittämiseksi tehtiin laskelmia otaksumalla, että taimet olisivat ryhmittyneet sattumanvaraisesti (P o i s s o n'in jakaantuminen), ja että suhteellinen taimimäärän arvioimisvirhe olisi 10 % 95 % todennäköisyydellä. Tällöin saadaan tarvittava ympyrämäärä kaavasta $N = \frac{t^2 v}{D\bar{y}^2}$, jossa t tarkoittaa Student'in jakaantumista, v varianssia ja $D\bar{y}$ suurinta hyväksyttävää arvioimisvirhettä. Metsänhoitaja S a k a r i S a l m i s e n suorittamien laskelmien mukaan 100 ruutua antaa tällöin riittävän tarkkuuden, kun taimiston tiheys on tyydyttävä. Kun taimien ryhmittyminen kuitenkin tunnetusti poikkeaa sattumanvaraisesta, jää tuloksen tarkkuus tiheydeltään harvassa taimistossa edellytettyä pienemmäksi ja tietysti sitä pienemmäksi, mitä harvempi taimisto on kysymyksessä. Vähenevää tarkkuutta ei kuitenkaan katsottu tarpeelliseksi korvata lisäämällä ruutumäärää eli arvioimisprosenttia, vaan pidettiin tarkoituksenmukaisempana käyttää tukena edellä mainittuja täydentäviä menettelytapoja. Milloin uudistusalalta tavattiin silmämääräisen tarkastelun perusteella vain yksittäisiä taimia, ts. uudistaminen oli kiistattomasti epäonnistunut, ei arvioinnissa pyritty suureen tarkkuuteen, koska siitä ei olisi tutkimuksen kannalta ollut sanottavaa hyötyä. Vastaavasti silloin kun taimisto havaittiin silmämääräisesti riittävän taajaksi ja aukottomaksi, ei tämän tosiasian numerollinen vahvistaminen vaatinut yhtä perusteellista työtä kuin taimiston ollessa tyydyttävän ja epätyydyttävän rajoilla.

Taimienlukuympyrään sattuvan parhaaksi katsotun taimen pituus mitattiin 0.1 m:n tarkkuudella. Taimien pituusmittauksissa otettiin huomioon se, että kasvukauden loppupuolella taimissa on vuosikasvaimen mitta enemmän pituutta kuin ennen kasvukauden alkua. Yksinkertaisuuden vuoksi jätettiin tutkimuskesänä muodostunut kasvain mittauksissa huomioon ottamatta. Taimien ikä selvitettiin niin tarkasti kuin maastossa oli mahdollista. Tarvit-

taessa taimi katkaistiin tyvestä ja lustot luettiin poikkileikkauksesta suurennuslasilla. Ikäarviointeja tarkistettiin näytteistä laboratoriossa. Ikätutkimusten tavoitteena oli selvittää, miten suuri osa taimista oli syntynyt ennen uudistamiseen tähtäävää hakkuuta ja sen jälkeen. Ehdottoman tarkkaan ikään oli näin ollen tarpeen pyrkiä vain sellaisissa tapauksissa, joissa taimi näytti, alustavan tarkastuksen perusteella, syntyneen hakkuuvuoden tienoilla. Tällaisia taimia oli yleensä vähän. Täten taimien iän määritys, joka on toisinaan varsin hankalaa, ei tässä tapauksessa muodostunut kovin aikaa vieväksi.

Suoritetuista hoitotoimenpiteistä tai niiden puuttumisesta tehtiin merkintä. Huomiota kiinnitettiin erityisesti siihen, oliko mahdollisesti jokin laiminlyönti, esim. perkauksen viivästyminen, johtanut alun perin tyydyttävän taimiston siirtymisen epätyydyttäviin. Tällöin näet katsottiin itse uudistamistoimenpide onnistuneeksi. Esiintyneistä tuhoista ja vaurioista tehtiin yksityiskohtaiset merkinnät. Huomiota kiinnitettiin ensi sijaisesti taimistolle aiheutuneen haitan määrään. Päähuomio kohdistettiin vaurioihin, joita tavattiin taimiston vallitsevassa osassa. Tarvittaessa otettiin näytteitä lähemmin tutkittaviksi.

Muiden puulajien taimet katsottiin varsinkin laihimmilla mailla runsaina esiintyessään ensi sijassa haitallisiksi. Tämän takia tyydyttiin näiden osalta suuripiirteiseen kuvaukseen, jonka lähtökohtana oli haitan määrä männyn taimille. Mikäli muiden puulajien taimet olivat pienehköjä ja harvassa, katsottiin niiden yleensä olevan eduksi ja täydentävän taimistoa yleensä sitä suuremmassa määrässä, mitä viljavampi kasvupaikka oli kysymyksessä. Ensi sijaisesti tulivat täydentävinä puulajeina kysymykseen kuusi ja rauduskoivu. Sekapuulajien merkitys on kuitenkin varsin monitahoinen (vrt. Megalinski 1963). Asiaan palataan tuonnempana useassa yhteydessä.

Taimien syntymisajankohta

Etelä-Suomessa tehdyt tutkimukset viittaavat siihen, että siemenpuumenetelmää käytettäessä osa taimista saa alkunsa jo ennen siemenpuuhakkuuta. Niinpä Sarvaksen (1949, s. 28) aineiston mukaan kanervatyypin siemenpuualoilla eloon jääneistä kaikista taimista lähes 60 % oli syntynyt ennen hakkuuta ja yli 40 % sen jälkeen. Puolukkatyypin siemenpuualoilla vastaavat luvut olivat noin 10 % ja 90 % sekä mustikkatyypillä noin 12 % ja 88 %. Tämä osoittaa, että olosuhteet taimien syntymiselle ja elossa säilymiselle ovat kanervatyypillä olleet yleisesti varsin hyvät jo ennen hakkuuta, kun ne sitä vastoin viljavammilla kasvupaikoilla ovat olleet jatkuvasti verraten epäsuotuisat. Alikasvostaimikysymykseen ovat Pohjois-Suomen osalta kiinnittäneet huomiota mm. Aaltonen (1919), Sarvas (1950),

Vaartaja (1951), Oinonen (1956) ja Mikola (1967). Useat ruotsalaiset ja venäläiset tutkijat ovat käsitelleet tätä asiaa Neuvostoliiton ja Ruotsin vastaavanlaisten alueiden osalta (esim. Repnevski 1961 a ja c, Vilikainen ja Kuznetsova 1965, Novoselov ja Štšeklein 1966, Wretlind 1931 ja 1934). Kaikilla näillä seuduilla näyttää ennen siemenpuuhakkuuta syntyneellä männyn taimistolla olevan merkitystä.

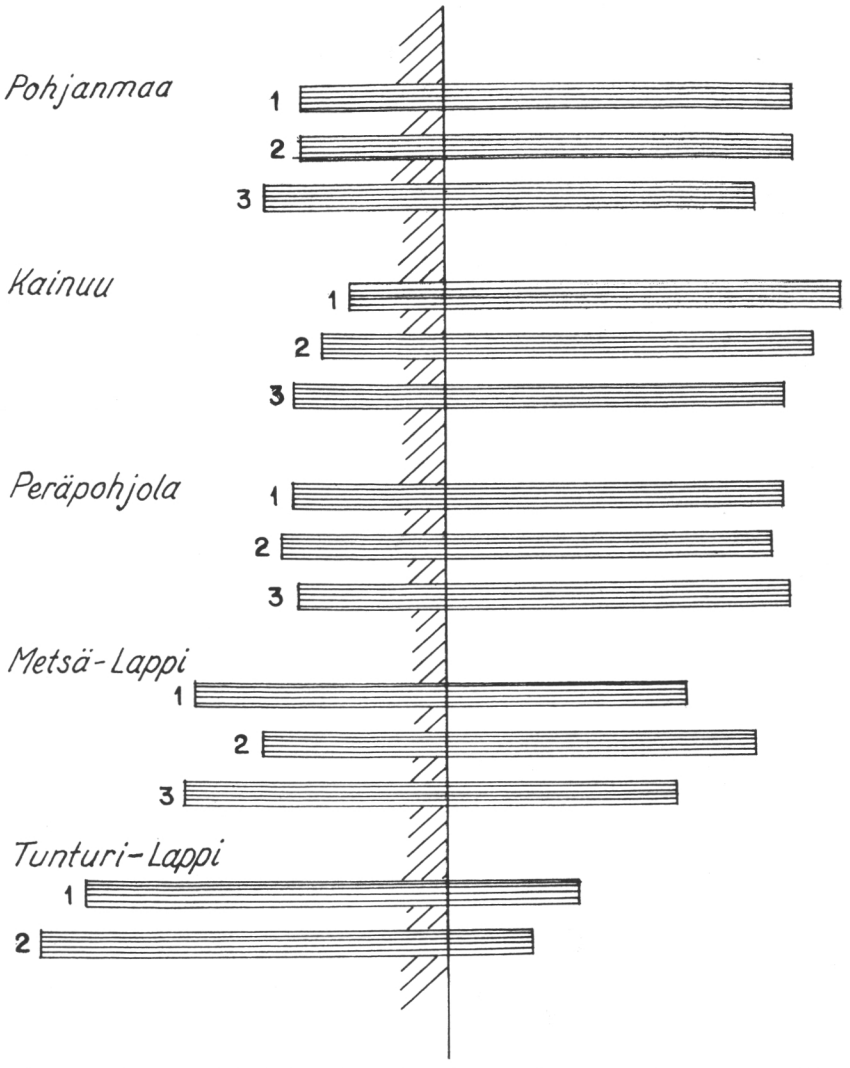
Tässä tutkimuksessa luettiin ikä vain kunkin ruudun suurimmasta metsittämiskelpoisesta taimesta. Täten ikäjakaantuminen koskee vain taimiston vallitsevaa osaa. Siten oli odotettavissa, että ennen hakkuuta ja hakkuun jälkeen syntyneiden eloon jääneiden taimien välinen suhde muodostuisi toisenlaiseksi kuin mainituissa tutkimuksissa.

Edellä olevasta puuston kehitystä koskevasta katsauksesta (s. 35) käy ilmi, että useilla nyt tutkituilla uudistusaloilla mäntypuusto on harventunut vähitellen vuosikymmenien kuluessa siemenpuuasentoon tai sitä muistuttavaan asentoon. Täten voitaisiin otaksua, ettei taimiston jako ennen hakkuuta ja hakkuun jälkeen syntyneeseen olisi yhtä selvä kuin esim. mainituilla Sarvaksen tutkimilla siemenpuualoilla, joilta on kaadettu yhdellä kertaa paljon suuria puita. Kuitenkin on huomattava, että nyt tutkituilla uudistusaloilla suoritetussa uudistamiseen tähtäävässä hakkuussa on poistettu lukumääräisesti varsin paljon puita ja täten hakkuu on sittenkin muodostunut taimien syntymistä ja kehitystä ajatellen voimakkaaksi toimenpiteeksi, taimien kannalta ehkä vielä voimakkaammaksi kuin harvalukuisempien isojen puiden kaato.

Eri alueilla elossa olevien metsittämiskelpoisten taimien syntyminen jakaantuu uudistamishakkuuseen nähden taulukon n:o 5 osoittamalla tavalla. Pohjanmaan, Kainuun ja Peräpohjolan alueilla keskimäärin runsas neljännes elossa olevien vallitsevien taimien lukumäärästä on syntynyt ennen hakkuuta. Metsä-Lapissa vastaava luku on lähes puolet. Tunturi-Lapissa on vanhan taimiston osuus vielä suurempi. Näin ollen erityisesti tutkimusalueen pohjoisosissa on ennen uudistamiseen tähtäävää hakkuuta syntyneillä taimilla varsin tärkeä, jopa ratkaiseva merkitys. Tässä yhteydessä on kiintoisaa todeta, että ennen maastotöiden ajankohtaa viimeksi sattunut yleinen ja runsas siemenvuosi tutkimusalueen pohjoisimmissa osissa esiintyi v. 1937 (Oinonen 1958, Sarvas 1962), siis yli 25 vuotta aikaisemmin.

Tämän aineiston perusteella näyttää siltä, ettei kasvupaikkojen viljavuudella ole tutkimusalueella paljon merkitystä vallitsevan taimiston osan taimien syntymäajankohdan kannalta.

Jos olisi otettu huomioon kaikki minimipituuden ylittäneet taimet, olisivat hakkuun jälkeen syntyneiden taimien määrät ehkä tulleet jonkin verran suuremmiksi. Toisaalta iänmäärityksessä syntyneet virheet ovat sikäli yksi-



Kuva 14. Ennen uudistushakkuuta syntyneiden taimien (pystyviivasta vasemmalle) ja uudistushakkuun jälkeen syntyneiden taimien (pystyviivasta oikealle) keskimäärät kuivien (1), kuivahkojen (2) ja tuoreiden kankaiden (3) uudistusaloilla eri vyöhykkeissä.

Fig. 14. Average numbers of seedlings that have originated prior to (left of vertical line) and after (right of vertical line) the regeneration cutting in Calluna-type (1), Vaccinium-type (2), and Myrtillus-type (3) regeneration areas in the different zones.

puolisia, että taimet arvioidaan helposti liian nuoriksi (vrt. S a r v a s 1950, s. 50—51). Tämän johdosta ennen hakkuuta syntyneiden taimien määrä voi olla todellisuudessa jopa hieman esitettyä suurempi.

On huomattava, että nyt tutkitut taimistot ovat saaneet kehittyä uudistushakkuun jälkeen 10—20 vuotta. Tämän johdosta on ennen hakkuuta syn-

Taulukko 5. Elossa olleiden taimien syntymäajankohta uudistushakkuuseen nähden vyöhykkeittäin. Kussakin sarakkeessa vasemmanpuoleinen luku tarkoittaa ennen hakkuuta syntyneiden taimien määrää, oikeanpuoleinen luku hakkuun jälkeen syntyneiden taimien määrää

Table 5. Living seedlings emerged before and after regeneration cutting in different zones

	Pohjanmaa		Kainuu		Peräpohjola		Metsä-Lappi		Tunturi-Lappi	
	ennen hakkuuta *before cutting*	hakkuun jälkeen *after cutting*	ennen hakkuuta *before cutting*	hakkuun jälkeen *after cutting*	ennen hakkuuta *before cutting*	hakkuun jälkeen *after cutting*	ennen hakkuuta *before cutting*	hakkuun jälkeen *after cutting*	ennen hakkuuta *before cutting*	hakkuun jälkeen *after cutting*
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Kuivat kankaat — *Calluna type sites*	29	71	19	81	31	69	51	49	73	27
Kuivahkot kankaat — *Vaccium type sites*	29	71	25	75	33	67	37	63	83	17
Tuoreet kankaat — *Myrtillus type sites*	37	63	31	69	30	70	53	47	—	—
Keskimäärin — *Average*	32	68	25	75	31	69	47	53	—	—

tyneiden taimien lukumäärä huomattavasti vähäisempi kuin se on ollut hakkuun ajankohtana tai vähän sitä ennen. Hakkuun seurauksena taimia näet kuolee toisinaan paljonkin. Pelkästään hakkuun vaikutuksesta saattavat menetykset nousta varsin suuriksi, ellei noudateta tarpeellista varovaisuutta (Sarvas 1944). Hakkuun jälkeisinä lähimpinä vuosina kuolee usein seuraustuhoihin puolet, jopa enemmänkin taimimäärästä (Vaartaja 1951, Vilikainen ja Kuznetsova 1965). On ilmeistä, että tarkoituksenmukaisin toimenpitein olisi hakkuuta edeltävästä taimimäärästä saatu säilymään huomattavasti suurempi osa (vrt. Klimov 1962).

Vertauksen vuoksi esitettäköön Oinosen (1956) kolmelta Peräpohjolan siemenpuualalta ilmoittamat taimiluvut. Taimista oli syntynyt hakkuun jälkeen vain 7.2 %, 12.0 % ja 20.1 %. Koska kyseessä olevat taimistot ovat olleet jo alun perin hyvin tiheitä (yli 100 000 kpl/ha) on ymmärrettävää, että uusia elinkelpoisia taimia ei ole päässyt näillä uudistusaloilla sanottavasti muodostumaan. Taajaan taimistoon syntynyt uusi taimi joutuu näet välittömästi ankaraan kilpailuun vanhempien taimien kanssa, joten sen kasvu jää vähäiseksi samalla tavoin kuin taajassa metsässä kasvavan taimen. Tällaisten epäsuotuisissa oloissa kasvavien taimien kuolleisuus on tunnetusti erityisen suuri (Sarvas 1937, Vaartaja 1951, Lehto 1956, Repnevski 1961c).

Ennen hakkuuta ja hakkuun jälkeen syntyneiden metsittämiskelpoisten taimien keskipituus ja keski-ikä selviävät oheisesta asetelmasta. Vyöhykkeen V osalta ei ole esitettävissä näitä numerotietoja.

	Ennen hakkuuta syntynyt taimisto		Hakkuun jälkeen syntynyt taimisto	
	Pituus, m	Ikä, v	Pituus, m	Ikä, v
Pohjanmaa	1.86	17.8	0.63	7.2
Kainuu	1.21	15.1	0.51	6.7
Perä-Pohjola	1.56	19.8	0.52	7.8
Metsä-Lappi	1.31	20.7	0.28	7.5

Luvut osoittavat, että ennen hakkuuta syntyneellä taimistolla on vyöhykkeissä I—IV ollut tutkimusajankohtana huomattavan suuri etumatka hakkuun jälkeen syntyneeseen taimistoon verrattuna. Tämä tietysti korostaa esikasvoksen merkitystä sen lisäksi, mitä edellä on mainittu sen osuudesta metsittämiskelpoisten taimien lukumäärään. Nyt esiin tulleet tiedot käyvät hyvin yksiin sen kanssa, mitä Vaartaja (1951, 1954), Oinonen (1956) sekä lukuisat muut tutkijat (esim. Melehov 1960, Novoselov ja Štšeklein 1966) ovat männyn luontaisesta uudistamisesta esittäneet. Viimeksi mainituissa julkaisuissa mainitaan mm., että verraten heikkokuntoisenkin mäntyesikasvoksen ansiosta voidaan kiertoaikaa lyhentää 10—40 v., kun alikasvostaimiston säilymiseen päätehakkuissa kiinnitetään erityistä huomiota esim. ns. kapeiden kaistojen hankintamenetelmää soveltamalla. Tähän verrattavaa menettelyä ei ole käytetty nyt kysymyksessä olevien uudistusalojen osalta, eikä taimiston suojaamiseen liene muutenkaan kiinnitetty sanottavaa huomiota; onhan tavoitteena yleensä ollut se, että taimisto syntyisi vasta hakkuun jälkeen (vrt. Oinonen 1956).

Taimien syntymäaikojen jakaantuminen antaa aihetta tarkastella uudelleen siemensadon runsautta. Kun yleisesti 20—80 % metsittämiskelpoisista taimista on syntynyt ennen paljastavaa hakkuuta, merkitsee tämä sitä, että huomattava osa taimia tuottavasta siemensadosta on saatu jo ennen kuin puusto on hakattu siemenpuuasentoon. Aikaisemmin on osoitettu, että verraten tiheätkin männiköt siementävät runsaammin kuin harvahkot, varsinkin verekset, siemenpuustot (Lehto 1957). Täten on ilmeistä, ettei siemensato nyt tarkasteltavina olevilla, jo ennen hakkuuta melko väljässä tilassa olleiden puustojen osalta ole ollut ainakaan pienempi kuin välittömästi tämän hakkuun jälkeen.

Edelleen taimien syntymäaikojen tarkastelu tuo esiin, että se ajanjakso, jonka kuluessa siemensato olisi saatava, on toisinaan varsin pitkä. Jos edellytetään, että tutkimusalueella hakkuuta edeltävä väljennys (jonka jälkeen syntyvillä taimilla olisi jo edellytyksiä säilyä paljastavan hakkuun yli) olisi sopivinta toimittaa 10 vuotta, pohjoisosissa ehkä 20 vuotta tätä aikaisemmin, ja uudistamisen kannalta merkityksellistä siementä saadaan vielä — sanokaamme 5 vuotta taimettamishakkuun jälkeen — saadaan tehoisan siemennyksen ajaksi eteläisilläkin alueilla vähintään 15 vuotta. Kun tällä luvulla kerrotaan keskimääräisiä vuotuisia siemensatoja ilmaisevat luvut,

päästään siemenmääriin, jotka metsän uudistajalla on käytettävissään. Sarvaksen (1950) mainitsemia siemensatolukuja käyttäen tämä merkitsisi esim. varpu-jäkälätyypillä 14 × 15 = 210 kpl/m² eli vajaa 1 kg/ha 100 %:sti itävää siementä. Tämä edustaa erittäin heikkopuustoisten Peräpohjolan metsiköiden siemensatoa, joten sitä voitaneen pitää vähimmäismääränä. Voimakaspuustoisen, hoidetun metsikön siementuotanto on ilmeisesti paljon suurempi.

Paitsi sitä, että käytettävissä oleva pitkä siemennyskausi takaa runsaan kokonaissiemenmäärän, on siitä se etu, että näin pitkään jaksoon sattuu varsin suurella todennäköisyydellä jokin sellainen vuosi, jolloin siemensato on ainakin kohtalainen ja jolloin lisäksi säät ovat taimien syntymiselle ja alkukehitykselle suotuisat.

Se seikka, että huomattava osa uudistusalojen taimista oli syntynyt jo ennen paljastavaa hakkuuta, antaa aiheen tarkastella taimistojen geneettistä arvoa. Tiedetään, että suhteellisen sulkeutuneessa männikössä siementuotanto keskittyy valtapuihin (Morosov 1928). Jos edellytetään, että nämä puut sisältävät metsikön geneettisesti arvokkaimpia aineksia enemmän kuin pienemmät puut, on todennäköistä, että tässä vaiheessa syntyvät taimet ovat geneettisesti arvokkaita. Uudistusaloilla tehdyt havainnot osoittavat, että taimisto käsitti useimmiten sellaisia yksilöitä, jotka ovat melko varmasti syntyneet valtapuustosta peräisin olevasta siemenestä (vrt. Lehto 1964). On näin ollen ajateltavissa, että taimisto, joka käsittää verraten runsaasti myös esikasvosta, on geneettisesti ainakin yhtä arvokas ja todennäköisesti arvokkaampi kuin pelkästään siemenpuustosta syntynyt.

Toisaalta ei ole sanottu, onko siementävän puuston ulkoasun perusteella tapahtuvalla valinnalla sanottavaa vaikutusta jälkeläistön laatuun (Rohmeder ja Schönbach, 1959 Eklundh Ehrenberg, 1963).

Taimistojen metsittämisarvo

Jotta männyn luontaisen uudistamisen voidaan katsoa onnistuneen vähintään tyydyttävästi, on taimiston täytettävä tietyt vähimmäisvaatimukset. Ensinnäkin puulajikoostumuksen on oltava tarkoituksenmukainen (kasvupaikalle sopivia käyttökelpoisia puulajeja käsittävä) tai sellaiseksi riittävän helposti saatavissa. Toiseksi taimiston on oltava kyllin tiheä ja tiheydeltään riittävän tasainen sekä kohtuullisen tasakorkuinen. Kolmanneksi taimien laadun on oltava tyydyttävä. Edelleen uudistamiseen kulunut aika ei saa ylittää tiettyä asianomaisissa oloissa kohtuulliseksi katsottua vuosimäärää. Uudistumisajan enimmäispituudeksi otettiin tässä tutkimuksessa 10 vuotta (vrt. Riihinen 1966). Uudistumisaika on kuitenkin useiden tämän tutkimuksen uudistusalojen osalta varsin epämääräinen, sillä aina ei ole onnis-

tuttu saamaan selville täsmälleen, missä vaiheessa metsikkö on hakattu niin harvaksi, että olisi ollut tarkoituksenmukaista siirtyä sen kasvattamisesta uudistamiseen. Kun tämän tutkimuksen painopiste on kuitenkin olemassa olevien metsien luontaisessa uudistamiskyvyssä ja uudistumistapahtuman biologisissa ilmiöissä, ei uudistumisajan pituudelle ole annettu ensisijaista merkitystä. Kuten tuonnempana käy selville, uudistumisaika on tarkasteltavana olevissa metsissä varsin monisäikeinen kysymys.

Sekapuulajien merkityksestä männyn taimistoissa on paljon kiistelty ja on esitetty käsityksiä puolesta ja vastaan. Metsänviljelyssä näyttää yleensä olevan yksinkertaisinta monokulttuurin aikaan saaminen ja sitä pidetäänkin meillä nykyisin yleisesti tavoitteena. Monokulttuurilla on etunsa ja haittansa, joihin ei tässä kuitenkaan voida sanottavasti puuttua. Todettakoon vain, että sopiva sekapuusto on nähtävästi monin tavoin välillisesti hyödyksi. Mainittakoon ennen kaikkea koivun merkitys maan viljavuuden edistäjänä. Niinpä sen vaikutuksesta tapahtuu pintamaassa rikastumista typellä, fosforiyhdisteillä ja kalilla. Samoin on todettu huomattavaa happamuuden alenemista koivun ansiosta. Niinikään on tunnettu koivun edullinen vaikutus soistumaan alttiiden maiden vesitalouteen (Melehov 1949, Šimanjuk 1954, Mikola 1954, Kozlovski 1960). On myös huomattava koivun havupuita nopeampi kasvu nuorella iällä. Rauduskoivu on luonnollisesti edullisempi puuntuotannon kannalta, mutta maanparannustarkoituksessa tulee myös hieskoivu kysymykseen.

Merkitystä on edelleen sillä, että pääpuulajiemme juuristot leviävät eri kerroksiin. Erityisesti koivun syvälle tunkeutuvalla juuristolla näyttää olevan huomattava merkitys kanavien aukaisijana maahan (Laitakari 1927 ja 1934, Kalela 1949, Sirén 1955).

Puulajien sekaisin kasvattamisen puolesta voidaan vielä mainita, että eri puulajeilla sattuvat aktiivisten juurten maksimikasvun ajankohdat eri aikoihin kasvukaudesta. Niinä ajankohtina puut imevät maasta voimakkaimmin vettä ja ravinteita. Tästä johtuen sellaiset puuyksilöt, joilla tämä maksimikasvu osuu samaan ajankohtaan, sopivat huonosti kasvamaan toistensa tuntumassa. Pahin on tilanne tietysti puhtaassa tiheässä metsikössä. Mänty, kuusi ja koivu ovat tässä suhteessa keskenään erilaisia (vrt. Rahtejenko 1960).

Sekametsikön tuhojenkestävyys näyttää ainakin tutkimusalueen olosuhteissa suuremmalta kuin puhtaan havumetsikön. Niinpä ovat sekapuulajien taimien toisistaan eristämät männyn taimet paremmassa suojassa tutkimusalueella erittäin tuhoisalta lumikaristeelta kuin yhtäjaksoisessa männyn taimistossa (Björkman 1948, Moroz 1964). Taimiston kehityksen alkuvaiheessa sekapuiden taimet, jopa pensaatkin ovat sopivissa kohdin sijaitessaan käyttökelpoisia siksi, että ne nopeuttavat taimiston sulkeutumista (vrt. Megalinski 1963). Huomattakoon myös esim. lepän ja pihlajan

karikkeiden edullinen vaikutus humuksen tilaan (Mikola 1954 ks. myös Cajander 1916, s. 299). Tutkimusalueen pohjoisosissa on laajoja alueita, joilla harvakseen esiintyvä tunturikoivu näyttää olevan tehokas suoja männyn taimille ankaran tuulen haitallista vaikutusta vastaan (Hustch 1948, s. 64, Siré n ym. 1958). Mainittakoon myös laajojen yhtenäisten ja likimain puhtaiden havumetsien kulonarkuus.

Metsien moninaiskäyttöä silmällä pitäen voitaneen lisäksi todeta, että sekametsissä on eläinlajeja huomattavasti enemmän kuin puhtaissa havumetsissä tai puhtaissa lehtimetsissä, sillä sekametsissä yhtyvät sekä havuettä lehtipuita suosivien eläinlajien elinmahdollisuudet. Niinpä on kvantitatiivisten tutkimusten perusteella laskettu, että Lammin pitäjän linnusto köyhtyy 15 000—20 000 parilla sitä mukaa kuin lehtipuuvaltaiset metsät muuttuvat puhtaiksi havumetsiksi (vrt. Palmgren 1949, s. 115).

Brammanis (1967) mainitsee, että koivun perinpohjainen hävittäminen nuorista mäntymetsistä on edistänyt punalatikan (*Aradus cinnamomeus* Panz.) yleistymistä. Tämä männyn taimistojen ja nuorten metsien tuholainen on aikaisempien tietojen mukaan ollut meillä melko harvinainen (Saalas 1949). Maisteri Lalli Laineen suullisen tiedonannon mukaan männyn maannousema on harvinaisempi männiköissä, joissa on kuusisekapuustoa.

Voidaan siis todeta, että vaikka mäntypuun tuottaminen on tutkituilla uudistusaloilla asetettava ensi sijaiseksi tavoitteeksi, ei täysin puhdas männyn taimisto näytä olevan kaikki näkökohdat huomioon ottaen edullisin. Päin vastoin taimisto, jossa on vähäinen sekapuusto, on parempi kuin muuten samanlainen puhdas männyn taimisto. Miten runsas sekataimien määrä on katsottava jo haitaksi, riippuu monista tekijöistä. Näitä ovat mm. taimiston kehitysvaihe, kyseisten sekapuulajien sopivuus kasvupaikalle, niiden mahdollinen haitta männyn taimille ja sekapuulajien metsätaloudellinen ja muu arvo kyseisissä olosuhteissa (vrt. Mikola 1966). Täten kysymystä on tarkasteltava jokaisen taimiston kohdalla erikseen.

Tyydyttäväksi katsottavan taimiston tiheys on niinikään monisäikeinen kysymys. Luonnon taimistojen tiheyttä arvosteltaessa on meillä yleensä käytetty lähtökohtana viljelytiheyttä. Kustannussyistä on näet metsänviljelyssä sovellettu niin pitkiä istutusvälejä tai kylvölaikkujen välejä kuin on pidetty mahdollisena tulevan puuston kehitystä vaarantamatta, ts. eräänlaisia vähimmäislukuja. Sarvas (1949, s. 31) on katsonut Etelä-Suomen rintamailla siemenpuualojen tasaiset männyn taimistot tyydyttäviksi, kun yli 0.1 m pitkien taimien määrä on vähintään noin 4 000 kpl/ha. Pohjois-Suomen osalta hän (1950, s. 55) on pitänyt vastaavasti 3 000 kpl/ha riittävänä. Tämän ohella meillä on esitetty sekä näitä suurempia että pienempiä tiheysvaatimuksia (Lehto 1964, Siré n 1965). Ruotsissa (1964) sovelletaan

yleisesti metsälakiin sisältyvää ohjetta, jonka mukaan Pohjois-Ruotsin mäntyvaltaisessa taimistossa pitää olla, sen keskikorkeuden ollessa 1.3 m, suotuisissa olosuhteissa 2 200 tainta/ha ja epäsuotuisissa olosuhteissa 900 tainta/ha osapuilleen tasaisesti ryhmittyneinä. Neuvostoliiton havumetsäalueella on käytetty Nesterovin laatimaa kaaviota luonnontaimistojen arvostelussa (Nesterov 1949, s. 225). Tässä kaaviossa on otettu huomioon se, että mitä varttuneemmasta taimistosta on kysymys, sitä pienempi taimimäärä riittää. Niinpä noin 15-vuotista taimistoa, joka käsittää 500 tainta hehtaarilla, voidaan kaavion mukaan vielä pitää välttävänä (vrt. myös L'vov 1964, s. 128 ja Pintšuk 1964). Huuri (1965) on tuonut esiin näkökohtia, jotka puoltavat verraten pitkän taimivälin käyttämistä viljelytaimistoja perustettaessa, jotta tietyllä taimimäärällä saataisiin aikaan mahdollisimman paljon istutettua alaa. Nämä näkökohdat soveltuvat osittain myös luonnontaimistojen arvosteluun.

Yleensä siis inventointiohjeiden mukaan epäsuotuisissa kasvuoloissa, kuten laihalla maalla ja kylmässä ilmastossa, tiheysvaatimukset ovat pienemmät kuin suotuisissa ja varttuneen taimiston arvostelussa sovelletaan lievempää asteikkoa kuin kehityksensä alkuvaiheessa olevan. Tätä periaatetta noudatettiin myös tässä tutkimuksessa. Ilmaston ja kasvupaikan viljavuuden ohella otettiin huomioon myös kivisyys siten, että kivisillä mailla hyväksyttiin pienempi tiheys kuin kivettömillä, koska edellisillä ei mahdu kasvamaan yhtä paljon puita kuin jälkimmäisillä. Erittäin kivisillä mailla tämä vähennys oli n. 50 % (vrt. Viro 1947, s. 70).

Tunturi-Lapin osalta taimiston metsittämisarvon käsite on olennaisesti toinen kuin etelämpänä. Suurehkojenkin taimien edelleen kehittymisen epävarmuudesta johtuen siellä olisi oltava taimiston tiheyden vaatimuksissa ankarampi kuin esim. Metsä-Lapissa, eikä alle lumen keskimääräistä maksimikorkeutta pienemmille taimille voida antaa suurta merkitystä. Toisaalta männyn pohjoisimmilla esiintymisalueilla ei liene yhtä suurta merkitystä kuin eteläisempänä sillä, saadaanko syntymään sulkeutunut metsikkö vai harveikko.

Erittäin tärkeä taimiston metsittämisarvoon vaikuttava tekijä on sen terveydentila. Niinpä jonkin pahan kroonisen tuholajin esiintyminen aiheuttaa sen, että pintapuolisesti tarkastellen metsittämisarvoltaan hyvä taimisto on todellisuudessa huonompi kuin esim. tiheydeltään puutteellinen, mutta täysin terve taimisto. Taimistotuhojen merkitystä tarkastellaan seikkaperäisemmin tuonnempana.

Edellä esitetyn perusteella on ilmeistä, että ääritapauksia lukuunottamatta tiheys antaa sellaisenaan vaillinaisen käsityksen taimiston metsittämisarvosta. Siitä syystä ei tälle tunnukselle annettu kovin suurta painoa taimistoja arvosteltaessa.

Uudistamistulos

Kuten edellä olevasta käy ilmi, on taimiston metsittämisarvo riippuvainen monista tekijöistä ja rajatapauksissa on vaikea ellei mahdoton kiistattomasti ratkaista, onko taimisto käyttökelpoinen vai epätyydyttävä. Tällaisten tulkinnanvaraisten tapausten takia taimistojen luokitteleminen metsittämiskelpoisiin ja metsittämiskelvottomiin saattaa olla erittäin hankala tehtävä, ainakin niin kauan kun ei ole tarkkoja luokitusperusteita. Tämän tutkimuksen kannalta tällainen jyrkkä kahtiajako ei kuitenkaan näyttänyt välttämättömältä, sillä ensisijaisena tarkoituksena oli etsiä syitä, joista johtuen uudistaminen toisinaan onnistuu, toisinaan epäonnistuu. Tätä tavoitetta varten näytti antoisimmalta poimia aineistosta eroon toisaalta sellaiset uudistusalat, joissa uudistaminen oli selvästi onnistunut, ja toisaalta sellaiset, joissa se oli epäonnistunut, ja verrata näitä kahta ryhmää toisiinsa.

Tämän mukaisesti uudistusala-aineistosta otettiin erilleen ne tutkimuskohteet, joissa oli tekijän käsityksen mukaan tiheydeltään, tasaisuudeltaan ja elinvoimaisuudeltaan jokseenkin kiistattomasti hyvä taimisto. Tähän ryhmään valittiin sellaiset uudistusalat, joissa oli nollaruutuja korkeintaan 30 %, kun huomioon otettiin vain metsittämiskelpoiset männyn taimet. Varsinaisia aukkoja (yli 20 m^2:n laajuisia taimettomia kohtia) ei näillä uudistusaloilla saanut esiintyä. Tämän uudistusalojen ryhmän perusteella on muodostettavissa käsitys siitä, millaisten edellytysten vallitessa saadaan tutkimusalueella luontaisesti syntymään jokseenkin täysituottoinen (vrt. Braathe 1966) männikkö. Vertailuryhmä muodostettiin sellaisista uudistusaloista, joissa uudistamistoimenpide oli täydellisesti epäonnistunut, ts. siemenpuuhakkuun tuloksena ei ollut saatu edes välttävää taimistoa. Tässä tapauksessa asetettiin nollaruutujen vähimmäismääräksi metsittämiskelpoisten männyn taimien osalta 75 %. Tämä merkitsee sitä, että uudistusalalla tavattiin vain yksittäisiä männyn taimia (yleensä alle 500 kpl/ha) tai hyvin pienialaisia taimiryhmiä. Muiden uudistusalalla mahdollisesti esiintyvien puulajien (etupäässä kuusen ja koivun) taimien ei voitu katsoa korvaavan männyn taimien vähyyttä näiden sekapuiden taimien huonolaatuisuuden takia tai siksi, että kasvupaikka on ollut niille soveltumaton. Näillä uudistusaloilla jäisi uuden metsän tuotos enimmäkseen huomattavasti alle puolen täysitiheästä taimistosta syntyvän metsikön tuotoksesta (Braathe 1966). Lisäksi tämän ryhmän taimistoja ei katsottu voitavan kannattavasti kunnostaa täydennysviljelyllä, vaan luonnon taimien raivaus ja täysviljely näyttivät välttämättömiltä (vrt. Yli-Vakkuri 1968).

Näiden vertausryhmien vastakohtaisuutta olisi voitu vieläkin korostaa tiukentamalla edellisessä ryhmässä taimiston laatuvaatimuksia ja jättämällä jälkimmäisen ryhmän parhaat »taimistot» tarkastelun ulkopuolelle. Tällöin olisi vertailuun käytettävissä oleva aineisto kuitenkin vastaavasti pienentynyt tulematta sanottavasti homogeenisemmaksi.

Mainittujen raja-arvojen väliin jää joukko taimistoja, joista parhaat ovat likimain yhtä hyviä kuin edellä määritellyt hyvälaatuiset taimistot, kun taas huonoimmat ovat lähellä metsittämiskelvottomien taimistojen ryhmää. Nämä huonoimmat metsittämiskelpoisiksi katsotut taimistot muodostavat välittävän ryhmän tyydyttäviksi ja epätyydyttäviksi katsottujen taimistojen välille. Niitä voitaisiin sanoa ehdollisesti metsittämiskelpoisiksi. Ankarampaa asteikkoa käytettäessä osa niistä siirtyisi epätyydyttäviin. Toisaalta asteikkoa lievennettäessä ei alun perin metsittämiskelvottomiksi arvostelluista taimistoista todennäköisesti siirtyisi ainoatakaan metsittämiskelpoisten ryhmään. Lopuksi aineisto käsittää suurehkon joukon keskinkertaisia taimistoja, joita ei lievänkään asteikon mukaan voida sanoa hyviksi, mutta jotka ankarastikin arvostellen täyttävät metsittämiskelpoisuuden vaatimukset.

Tätä erittäin hyvien ja metsittämiskelvottomien taimistojen väliin jäävää enimmäkseen keskinkertaisten taimistojen muodostamaa aineistoa ei voitu käyttää syy-yhteyksien selvittämiseen yhtä suuressa määrin kuin mainittuja laitavariantteja. Näistä taimistoista oli kuitenkin hyötyä tutkimuksen tämänkin osan kannalta mm. sikäli, että milloin jokin kysymys näytti jäävän epävarmaksi äärimmäisryhmiin kuuluvien taimistojen vähyyden takia, voitiin asia tarkistaa tällä lisäaineistolla.

Koko uudistusala-aineisto jakaantuu mainittuihin kolmeen pääryhmään seuraavasti:

	kpl	%
1. Taimiston metsittämisarvo hyvä	57	27.3
2. Taimiston metsittämisarvo tyydyttävä tai välttävä	109	52.1
3. Uudistaminen epäonnistunut	43	20.6
Yhteensä	209	100

Edellä esitetyn mukaan ei hiukan lievemmän arvosteluasteikon käyttäminen todennäköisesti vähentäisi epäonnistuneiksi katsottujen uudistusalojen ryhmää, kun taas vähänkin ankarampi asteikko suurentaisi sitä. Tämän alustavan ja summittaisen ryhmityksen perusteella näyttäisi siltä, että uudistamisessa on runsaasti neljäsosassa kaikista tutkimuskohteista onnistuttu hyvin. Selvien epäonnistumisien määrä jää noin viidennekseen, ja erilaisia välimuotoja on vähän yli puolet aineistosta. Tulos on suunnilleen sama kuin muissa viimeaikaisissa taimivarojen inventoinneissa on saatu tutkimusalueella tai sen läheisyydessä (Metsähallitus 1965, Braathe 1966, Kungl. Skogsstyrelsen 1966). Näin ollen männyn luontainen uudistaminen siemenpuumenetelmää käyttäen tutkimusalueen kangasmailla näyttäisi johtavan varsin usein epätyydyttävään tulokseen, mutta tuskin kuitenkaan huonompaan kuin metsänviljelyllä on keskimäärin saavutettu.



Kuva 15. Uudistaminen onnistunut hyvin. Oikealla näennäinen aukko, jonka keskellä kuitenkin lehtipuita. Hiekkakangas. Ala 21 B. Veteli. Valok. K. E. huhtik. 1965.

Fig. 15. Regeneration successful. On right, an apparent opening, in the middle of which are, however, broad leaved trees. Firm forest land. Area 21 B. Veteli. Photographed by K. E.

Tämän ylimalkaisen ryhmittelyn perusteella saatu kuva männyn luontaisen uudistamisen onnistumismahdollisuuksista ei kuitenkaan riitä, sillä aineiston yksityiskohtaisempi tarkastelu saattaa asettaa asian jossakin suhteessa toiseen valoon. Seuraavassa uudistusaloja analysoidaan tarkemmin vyöhykkeittäin.

P o h j a n m a a. — Jos taimiston metsittämisarvo käsitetään edellä esitetyn mukaisesti, jakautuvat uudistusalat Pohjanmaan vyöhykkeessä onnistumisasteen mukaan seuraavasti:

	kpl	Σkpl	%	Σ%	ha	Σha	%	%	Pinta-ala keskim. ha
1. taimisto hyvä ...	15	15	31.3	31.3	59	59	29.6	30	4,0
2. taimisto vähintään välttävä	28	43	58.3	89.6	20	79	60.3	90	4.2
3. uudistaminen epäonnistunut	5		10.4		20		10.1		4.1
Yhteensä	48		100		199		100		

Uudistusaloista on siis n. 90 % sellaisia, joiden taimisto on käytetyn asteikon mukaan katsottava hyväksi, tyydyttäväksi tai vähintään välttäväksi. Myös pinta-alan perusteella on näin määritetty onnistumisprosentti 90 %.

Hyviksi arvosteltujen taimistojen määrä on n. 30 % aineistosta, eli hiukan suurempi kuin keskimäärin koko tutkimusalueella (27 %). Sellaisten uudistusalojen määrä, joissa uudistaminen on kokonaan epäonnistunut, on Pohjanmaalla vain n. 10 % aineistosta, eli huomattavasti vähemmän kuin tutkimusalueella keskimäärin (20 %).

Seuraavaksi verrataan niitä uudistusaloja, joiden taimisto on arvosteltu hyväksi (ryhmä 1) ja niitä, joissa uudistaminen on katsottu epäonnistuneeksi (ryhmä 3). Tätä varten tarkastellaan oheisessa asetelmassa esitettyjä taimiston syntymisedellytyksiin liittyviä tekijöitä.

	Maalaji		Metsätyyppi			Pinta-kulo-aloja	Maan-pinta rikkou-tunut	Metsä puhdasta männikköä ennen hakkuuta	Korke-us, m, mpy	Uudis-tusaloja	
	moreeni-maiden ryhmä	hiekka-maiden ryhmä	ECT	EVT	VMT					kpl	ha
	Uudistusaloja, kpl										
Hyvin onnistuneet	6	9	6	7	2	3	5	11	104	15	59
Epäonnistuneet ..	5	0	0	4	1	0	0	0	76	5	20
										20	79

Asetelmasta huomataan, että kaikki hiekkamaiden ryhmän uudistusalat ovat sattuneet niiden uudistusalojen joukkoon, joissa uudistaminen on onnistunut hyvin. Metsätyypin osalta uudistusalat ovat jakautuneet siten, että kaikki kuivan kankaan (ECT) alat ovat onnistuneiden ryhmässä. Pintakuloalojen ja pinnastaan rikkoutuneiden maiden uudistusalat ovat niinikään kaikki sattuneet tähän ryhmään. Ne uudistusalat, joissa metsä on ollut ennen taimettamishakkuuta puhdasta männikköä, ovat myös tulleet onnistuneiden alojen ryhmään. Kuten aikaisemmissa tutkimuksissa (S a r v a s 1937, 1944, 1950, L e h t o 1956) on käynyt selville, ovat kaikki ne asetelmassa esiintyvät seikat (hiekkamaa, karu metsätyyppi, pintakulot, ennen uudistamiskautta tapahtuneesta karjankäynnistä tai muista syistä johtuva maanpinnan rikkoutuminen ja runsas mäntypuusto ennen hakkuuta), jotka asetelman lukujen mukaan luonnehtivat tutkimusaineiston parastaimistoisia uudistusaloja, yleensä männyn luontaista uudistumista edistäviä.

Uudistusalojen korkeutta merenpinnasta esittävistä luvuista selviää, ettei ainakaan suuri korkeus ole ollut syynä uudistamisen epäonnistumiseen Pohmaan alueella.

Esillä olevilla uudistusalaryhmillä on muitakin eroja. Seuraavassa esitetään valmistushakkuussa ja siemenpuuhakkuussa poistettujen, kannon korkeudelta yli 7 cm läpimittaisten kuusten ja koivujen keskimäärät sekä siemenpuiden keskimäärät, kaikki kpl/ha.

Kaadettujen kuusten määrä on ollut epäonnistuneilla uudistusaloilla lähes kuusinkertainen hyvin onnistuneisiin verrattuna ja koivujen määrä yli kymmenkertainen. Siemenpuita on jäänyt hyvin onnistuneille uudistusaloille kes-

	Kuusi poistettu	Koivu poistettu	Siemenpuita kaikkiaan	Uudistusaloja kpl
	kpl/ha			
Hyvin onnistuneet	66	16	35	15
Epäonnistuneet	392	174	14	5

kimäärin runsaasti kaksi kertaa enemmän kuin epäonnistuneille. Kuten lukuisista aikaisemmista tutkimuksista tiedetään, käy männyn taimettuminen yleensä hyvin vaikeasti metsiköissä, joissa on tai on ollut runsaasti kuusisekapuustoa, ellei maanpintaa ole erityisesti valmistettu (Pöntynen 1929, Sarvas 1944 ja 1950). Kuitenkin esitetyn asetelman mukaan myös niillä uudistusaloilla, joilla on hyvä männyn taimisto, on kuusia ollut keskimäärin 66 kpl/ha. Koealalomakkeista selviää, että kahdella näistä uudistusaloista kuusen määrä on ollut melko suuri (180 ja 400 kpl/ha), kun taas muilla kuusta on ollut vain nimeksi, useimmilla ei ollenkaan. Näiden kahden runsaasti kuusta käsittäneen uudistusalan lähempi tarkastelu osoitti, että niillä oli maanpinta ollut vuosia aikaisemmin varsin voimakkaan isojen kotieläinten toimittaman »muokkauksen» alaisena. Täten on ymmärrettävissä, että huolimatta kuusipuuston epäsuotuisasta vaikutuksesta näillä kahdella uudistusalalla siemenpuuhakkuu on johtanut taajan männyntaimiston syntymiseen. Asiaan on mahdollisesti vaikuttanut myös hyvien kuusen uudistumisvuosien puuttuminen uudistamisajankohtana.

Koivun vaikutus männyn luontaiseen uudistumiseen ei ole yhtä selvä kuin kuusen. Tietyissä olosuhteissa koivusekapuuston tiedetään edistävän havupuiden uudistumista, mutta toisaalta tunnetaan yleisesti runsaan koivupuuston aiheuttama haitta (Hesselman 1927, s. 367, Pöntynen 1929, s. 113, Tertti 1932, 1934, Sarvas 1950). Edellä olevasta vertailusta käy ilmi, että runsaasti koivua kasvaneet uudistusalat ovat taimettuneet männyn osalta kovin huonosti. Tämä onkin helposti ymmärrettävissä, jos ajatellaan, miten taaja vesaikko muodostuu koivikon kaatamisen jälkeen, ellei vesomisen ehkäisyyn kiinnitetä riittävästi huomiota (vrt. Mikola 1942, Sarvas 1950).

Tehty vertailu osoittaa, että luontaisen uudistumisen edellytykset niillä Pohjanmaan viidellä uudistusalalla, joille ei ole noussut edes välttävää taimistoa, ovat olleet huonot monen uudistumiseen vaikuttavan tekijän kannalta. Näin ollen käy ilmeiseksi, ettei siemenpuumenetelmän käyttö näillä uudistusaloilla ainakaan ilman perusteellista maanpinnan valmistamista ja koivun vesomisen ehkäisyä ole ollut tarkoituksenmukainen toimenpide.

On vielä lähemmin tarkastelematta, millaisia taimistoja sisältyy siihen uudistusalojen ryhmään, joka jää hyvin onnistuneiden ja epäonnistuneiden väliin. Tämä ryhmä käsittää 28 uudistusalaa, siis yli puolet Pohjanmaan

aineistosta. Uudistusalalomakkeiden ja muiden muistiinpanojen yksityiskohtainen tarkastelu osoitti, että näistä 19:llä on 0-ruutuja männyn osalta 38—56 %. Kun monissa tällaisissa männyn kannalta taimettomissa kohdissa on ollut kasvatuskelpoisia tai ainakin taimiston sulkeutumista jouduttavia rauduskoivun ja kuusen taimia, on näiden uudistusalojen taimettumista pidetty tyydyttävänä. Lisäksi on 5 uudistusalaa, joiden taimisto on männyn taimien vähäisemmän määrän (0-ruutuja 59—67 %) takia jonkin verran edellisiä heikompi, mutta sekapuulajien ansiosta kuitenkin vielä tyydyttävä. Jäljellä olevien neljän uudistusalan taimistossa on niin paljon suurehkoja aukkoja (yli 20 m²:n laajuisia), että niistä kehittyvä metsikkö on ainakin alkuvaiheessaan selvästi vajaatuottoinen, jonka takia uudistumisen voidaan näiden osalta sanoa tapahtuneen korkeintaan välttävästi.

Voimme siis ryhmittää Pohjanmaan vyöhykkeen uudistusalat onnistumisasteen mukaan myös seuraavasti:

	kpl	Σkpl	%	Σ%
Uudistaminen onnistunut hyvin	15	15	35	31
» » tyydyttävästi ...	24	39	55	82
» » välttävästi	4	43	10	90
Yhteensä	43		100	
Toimenpide virheellinen	5	48		10
	48			

Tässä ryhmityksessä edustavat metsittämisarvoltaan välttävät eli ehdollisesti metsittämiskelpoiset taimistot metsittämiskelpoisten ja metsittämiskelvottomien taimistojen välimuotoa, ja ne muodostavat näiden äärimmäisryhmien välille jonkinlaisen siirtymärajan. Välttävätaimistoisten uudistusalojen osalta siemenpuumenetelmän käytölle näyttää olleen edellytyksiä, mutta osaksi maanpinnan valmistamisen puuttumisesta, osaksi varhaisten taimiston hoitotoimenpiteiden laiminlyönnistä, osaksi hyönteis- ja sienituhoista johtuen uudistamisessa ei ole onnistuttu edes tyydyttävästi. Luontaisen uudistamisen käytön tarkoituksenmukaisuus jää niiden osalta ehkä kyseenalaiseksi.

K a i n u u. — Kainuun vyöhykkeessä jakautuvat taimistot metsittämiskelpoisten männyn taimien lukumäärän ja ryhmittymisen perusteella arvosteltuina oheisen asetelman mukaisesti. Perusteena on käytetty vain uudistusalojen lukumääriä.

	kpl	Σkpl	%	Σ%	uudistusala keskim. ha
1. taimisto hyvä	17	17	31.5	32	6
2. taimisto vähintään välttävä ..	19	36	35.2	67	6
3. uudistaminen epäonnistunut ..	18		33.3		10
Yhteensä	54		100		

Asetelman mukaan männyn luontainen uudistaminen on onnistunut Kainuun vyöhykkeessä selvästi huonommin kuin Pohjanmaalla. Tosin hyviä taimistoja on jokseenkin saman verran, mutta uudistamistoimenpide on täysin epäonnistunut kolmasosassa uudistusaloja, kun vastaava luku Pohjanmaalla on vain runsas 10 %. Täten hyvien ja vähintään välttävien taimistojen yhteinen osuus jää Kainuussa paljon pienemmäksi, noin kahdeksi kolmasosaksi aineistosta. Myös koko tutkimusalueen keskimäärään verrattuna on epäonnistumisprosentti Kainuun alueella huomattavan korkea (tutkimusalueella keskimäärin 20.6 %, Kainuussa 33.3 %). Epäonnistumisten merkitystä lisää vielä huomattavasti se seikka, että uudistusalojen pinta-ala on ryhmässä 3 keskimäärin 10 ha, kun se muissa ryhmissä on keskimäärin 6 ha. Näin ollen taimettumatta jäänyttä pinta-alaa on Kainuussa hyvin paljon.

Seuraavaksi verrataan keskenään edellä olevan asetelman uudistusalojen äärimmäisiä ryhmiä rinnastamalla ne uudistumisalttiuden kannalta tärkeiksi katsottujen ominaisuuksien osalta.

	Maalaji		Metsätyyppi			Pinta-kuloaloja	Maanpinta rikkoutunut	Metsä puhdasta männikköä ennen hakkuuta	Korkeus, m, mpy	Uudistusaloja	
	moreenimaiden ryhmä	hiekkamaiden ryhmä	ECT	EVT	VMT					kpl	ha
	Uudistusaloja, kpl										
Hyvin onnistuneet	13	4	7	7	3	3	3	11	173 (110—250)	17	99
Epäonnistuneet	18	0	0	13	5	0	0	1	222 (150—320)	18	177
										35	276

Esitetyistä luvuista käyvät ilmi pääpiirtein samat seikat, jotka on mainittu vastaavan Pohjanmaan uudistusaloja koskevan rinnastuksen yhteydessä: Uudistusalat, joilta on tavattu hyvä taimisto, ovat tarjonneet taimien syntymiselle ja alkukehitykselle suotuisat edellytykset ja uudistusalat joiden taimisto on ollut huono, ovat olleet uudistamisedellytyksiltään epäsuotuisia. Muiden kasvupaikkaominaisuuksien lisäksi Kainuun aineistossa kiinnittää huomiota se, että ne tutkimuskohteet, joilla uudistaminen on epäonnistunut, sijaitsevat keskimäärin korkeammalla kuin ne, joilla uudistaminen on onnistunut. Edellisessä ryhmässä viisi uudistusalaa sijaitsee yli 250 m korkeudella ja näistä kolme 300—320 m korkeudella. Ainakin viimeksi mainittujen osalta korkeussuhteilla saattaa olla merkitystä uudistamista vaikeuttavana tekitekijänä, vaikkakaan 300 m:n korkeus sellaisenaan ei vielä Kainuun leveysasteilla liene niin suuressa määrin männyn uudistamista vaikeuttava tekijä kuin se on pohjoisempana (vrt. S i r é n 1958). Niinpä tyydyttäviksi arvosteltujen Kainuun alueen taimistojen joukosta havaittiin kahden (132 ja 193)

sijaitsevan n. 300 m:n korkeudella. Palautettakoon mieleen, että koealat sijaitsevat likimain tasaisilla kohdilla, joten kaltevuussuhteilla ei ole asiaan sanottavaa vaikutusta.

Seuraavassa esitetään valmistushakkuussa ja siemenpuuhakkuussa poistettujen, kannon korkeudelta vähintään 7 cm läpimittaisten kuusten ja koivujen keskimäärät ja siemenpuiden keskimäärät, kaikki kpl/ha.

	Kuusi poistettu	Koivu poistettu	Siemenpuita kaikkiaan	Uudistusaloja kpl
	kpl/ha			
Hyvin onnistuneet	74	9	43	17
Epäonnistuneet	433	114	21	18

Niillä uudistusaloilla, joilla oli hyvä männyn taimisto, oli kuusta ollut merkitsevässä määrin vain kolmella uudistusalalla (102, 82 B ja 83 B), näillä keskimäärin 277 kpl/ha. Näistä ensiksi mainitulla (102) todettiin maanpinnan olleen voimakkaan muokkauksen alaisena sekä karjankäynnin että vuosien 1940—44 sotatoimien takia. Viimeksi mainitut uudistusalat (82 B ja 83 B) olivat kumpikin olleet ennen valmistushakkausta osana metsälaitumesta. Koivun määrä oli kaikilla hyvin onnistuneilla uudistusaloilla merkityksetön.

Taimettumisen kannalta epäonnistuneiden uudistusalojen ryhmässä kuusen määrä vaihtelee enimmäkseen 200—1 000 välillä, koivujen taas 50—300 välillä. Sekapuustoa tavataan siis melko runsaasti kaikilla tämän ryhmän uudistusaloilla. Maanpintaa huomattavasti muokkaavien tekijöiden esiintymisestä ei näillä uudistusaloilla havaittu merkkejä. Täten sekapuulajien runsaus — jota ei ole korvannut hyvä maan taimettumiskunto — on heikentänyt muutenkin epäsuotuisia uudistamisen edellytyksiä näissä tutkimuskohteissa. Samaan suuntaan on vaikuttanut siemenpuiden vähäinen määrä. Männyn luontaiselle uudistamiselle ei siten ole ollut riittäviä edellytyksiä käytettyä menettelytapaa noudattaen, joten toimenpidettä on pidettävä virheellisenä.

Se seikka, että Kainuusta kerättyyn aineistoon on sattunut huomattavan runsaasti sellaisia uudistusaloja, joissa männyn luontainen uudistaminen on vaikeata, vastaa hyvin sitä käsitystä, minkä edellä esitetystä Kainuun metsien yleiskuvauksesta saa.

Tarkastelemme vielä niitä 19 Kainuun uudistusalaa, joiden taimisto on arvosteltu tyydyttäväksi tai välttäväksi. Näistä 11 on katsottu maastossa tehtyjen muistiinpanojen nojalla taimistoltaan männyn osalta täysin tyydyttäviksi, joten välttävien taimistojen määräksi jää 8. Täten saataisiin Kainuun uudistusaloista seuraavanlainen ryhmitys:

	kpl	Uudistusalojen määrästä Σkpl	%	Σ%
Uudistaminen onnistunut hyvin	17	17	47	31
» » tyydyttävästi ...	11	28	30	52
» » välttävästi	8	36	23	66
Yhteensä	36		100	
Toimenpide virheellinen	18	54		33
	54			

Tässäkin tapauksessa välttäviksi arvostellut taimistot muodostavat välittävän ryhmän hyvä- ja tyydyttävätaimistoisten uudistusalojen ja niiden uudistusalojen välille, joilta taimisto käytännöllisesti katsoen puuttuu. Niiden metsittämiskelpoisuudesta voidaan helposti esittää eriäviä mielipiteitä ja luontaisen uudistamisen käytön tarkoituksenmukaisuus on niiden osalta epäselvä. Ilmeisesti olisi uudistaminen ainakin joidenkin osalta onnistunut tyydyttävästi, jos olisi suoritettu huolellisesti kaikki asiaan kuuluvat toimenpiteet, ennen kaikkea maanpinnan valmistaminen.

P e r ä p o h j o l a. — Peräpohjolan vyöhykkeessä jakautuvat uudistusalojen taimistot metsittämiskelpoisten männyn taimien lukumäärän ja ryhmittymisen perusteella arvosteltuina seuraavasti. Perusteena on käytetty uudistusalojen lukumääriä.

	kpl	Σkpl	%	Σ%	Uudistusala keskim. ha
1. taimisto hyvä	15	15	29.4	29	15
2. taimisto vähintään välttävä .	29	44	56.9	86	7.5
3. uudistaminen epäonnistunut .	7		13.7		8
Yhteensä	51		100		

Hyvien ja vähintään välttävien taimistojen osuus on täten Peräpohjolassa hieman pienempi kuin Pohjanmaalla, mutta huomattavasti suurempi kuin Kainuussa. Kun otetaan huomioon Peräpohjolan aineistossa ryhmään 1 kuuluvien uudistusalojen suuri keskipinta-ala (15 ha), näyttää siltä, että tässä vyöhykkeessä on hyväksi arvosteltua taimistoalaa suhteellisesti paljon runsaammin kuin Pohjanmaalla, Kainuusta puhumattakaan.

Seuraavassa asetelmassa nähdään uudistamisen onnistumisen kannalta äärimmäiset uudistusalaryhmät rinnastettuina uudistumisherkkyyden kannalta tärkeiden ominaisuuksien puolesta.

	Maalaji		Metsätyyppi			Pinta-kuloaloja	Puusto ennen hakkuuta puhdasta männikköä	Korkeus, m, mpy	Uudistusaloja	
	moreeni-maiden ryhmä	hiekka-maiden ryhmä	MCCIT	EMT	HMT				kpl	ha
	Uudistusaloja, kpl									
Hyvin onnistuneet	2	13	7	7	1	6	14	183 (80—260)	15	229
Epäonnistuneet	7	0	0	6	1	0	1	189 (110—240)	7	57
									22	286

Uudistusalojen jakaantuminen näihin äärimmäisryhmiin taimettumisedellytysten mukaan on siis tässäkin tapauksessa varsin selvä. Uudistusalojen korkeudella merenpinnasta ei liene ollut sanottavaa vaikutusta uudistamisen onnistumiseen, sillä korkeimmallakin sijaitsevat tutkimuskohteet, joilla uudistaminen on epäonnistunut, jäävät tässä suhteessa tärkeän 250 m:n korkeusrajan alapuolelle.

Seuraavassa esitetään valmistushakkuussa ja siemenpuuhakkuussa poistettujen, kannon korkeudelta yli 7 cm läpimittaisten kuusten ja koivujen keskimäärät ja siemenpuiden keskimäärät.

	Kuusi poistettu	Koivu poistettu	Siemenpuita kaikkiaan	Uudistusaloja kpl
	kpl/ha			
Hyvin onnistuneet	29	4	49	15
Epäonnistuneet	283	178	31	7

Kuusen esiintyminen niillä uudistusaloilla, joilla on todettu hyvä männyn taimisto, keskittyy jokseenkin kokonaan uudistusalalle 153 B (243 kpl/ha), joten muut 14 uudistusalaa ovat olleet jokseenkin vailla kuusisekapuustoa. Koivun määrä oli kaikilla tämän ryhmän uudistusaloilla merkityksetön. Uudistusalan 153 B maanpinnan tutkiminen osoitti, että lievän soistuneisuuden ansiosta maan taimettumiskunto männyn kannalta oli varsin hyvä. Taimistoltaan epäonnistuneiden uudistusalojen ryhmässä kuusen määrä on ollut kaikkialla varsin suuri, keskimäärin lähes 10-kertaa suurempi kuin vertausryhmässä. Koivun yli 44-kertainen määrä niillä uudistusaloilla, joilla ei ole ollut metsittämiskelpoista taimistoa, viittaa siihen, että tällä puulajilla on ilmeisesti ollut epäsuotuisa vaikutus männyn uudistumiseen. Kaadettujen koivujen runsaus on näet merkinnyt näillä uudistusaloilla huomattavaa vesamäärää uudistamiskauden aikana.

Tässäkin tapauksessa sekapuulajien runsaus niillä uudistusaloilla, joilla ei ollut edes välttävää taimistoa, osoittaa, että uudistusedellytykset ovat olleet myös puulajisuhteiden kannalta huonot. Siemenpuiden lukumäärä kylläkin näyttäisi keskimäärin riittävältä. Täten voidaan otaksua, että uudistaminen olisi useissa tapauksissa onnistunut, jos olisi toimitettu maanpinnan valmistaminen ja huolehdittu jatkuvasti vesantorjunnasta. Kun näin ei ollut menetelty, on uudistamismenettelyä pidettävä virheellisenä.

Vähintään välttäviksi katsottujen taimistojen lukumääräinen osuus Peräpohjolan aineistosta on huomattavan suuri (29 kpl 51:stä). Näistä voidaan katsoa tyydyttäviksi aikaisemmin mainituin perustein 17. Täten taimistoja, joiden metsittämisarvo on kyseenalainen, on 12. Peräpohjolan aineisto voidaan näin ollen ryhmittää uudelleen seuraavasti:

	kpl	Σkpl	%	Σ%
Uudistaminen onnistunut hyvin	15	15	34	34
» » tyydyttävästi ...	17	32	38	62
» » välttävästi	12	44	28	86
Yhteensä	44		100	
Menettely virheellinen	7	51		14
Uudistusaloja kaikkiaan	51			

M e t s ä - L a p p i. — Metsä-Lapin uudistusalat jakaantuvat onnistumisasteen mukaan — kun perusteena käytetään ensi sijaisesti metsittämiskelpoisten männyn taimien lukumäärää — seuraavasti:

	kpl	%
taimisto hyvä	8	25.0
taimisto vähintään välttävä	16	50.0
uudistaminen epäonnistunut	8	25.0
Yhteensä	32	100

Uudistusalojen rajoittuminen ympäröiviin alueisiin nähden oli Metsä-Lapissa monesti niin epämääräistä, ettei ole mahdollista tehdä samanlaista keskipinta-alojen mukaista vertailua kuin eteläisempien vyöhykkeiden osalta, vaan on nojauduttava yksinomaan uudistusalojen lukumäärään.

Hyvien ja vähintään välttävien taimistojen osuus uudistusalojen kokonaismäärästä on asetelman mukaan Metsä-Lapin vyöhykkeessä 75 %. Tämä on hieman vähemmän kuin tutkimusalueella keskimäärin (79.4 %).

Seuraavaksi verrataan uudistamisen onnistumisen kannalta äärimmäisiä uudistusalaryhmiä taimettumisen kannalta tärkeiden tunnusten pohjalla.

	Maalaji		Metsätyyppi			Pinta-kuloaloja	Puusto ennen hakkuuta puhdasta männikköä	Korkeus, m mpy,	Uudistusaloja	
	moreeni-maiden ryhmä	hiekka-maiden ryhmä	MCCIT	EMT	HMT				kpl	ha
	Uudistusaloja, kpl									
Hyvin onnistuneet	2	6	6	1	1	3	8	220 (150—270)	8	141
Epäonnistuneet	5	3	3	2	3	0	0	226 (110—280)	8	153

Täten myös Metsä-Lapin aineistossa havaitaan samanlaista ryhmittymistä uudistumisedellytysten mukaisesti kuin edellisissä vyöhykkeissä, vaikka ei ehkä niin selvästi. Uudistusalojen korkeutta merenpinnasta osoittavista luvuista havaitaan, että vertailun kohteeksi joutuneet kummankin ryhmän uudistusalat sijaitsevat keskimäärin jokseenkin yhtä korkealla.

Kumpaankaan uudistusalaryhmään ei sattunut ainoatakaan yli 300 m mpy sijaitsevaa uudistusalaa, minkä rajan yläpuolella uudistamisedellytykset mm. Sirénin (1958) mukaan heikkenevät romahdusmaisesti. Merkitsevästi pohjoiseen — enempää kuin eteläänkään — kaltevia rinteitä ei aineistoon sattunut. Mainittakoon, että kaksi tyydyttävää taimistoa (uudistusalat 251 ja 252) esiintyi 340 m korkeudella (vrt. Cajander 1916, s. 494—496).

Seuraavaksi esitetään valmistushakkuussa ja siemenpuuhakkuussa poistettujen, kannon korkeudelta < 7 cm läpimittaisten kuusten ja koivujen keskimäärät ja siemenpuiden keskimäärät.

	Kuusi poistettu	Koivu poistettu	Siemenpuita kaikkiaan	Uudistusaloja kpl
	kpl/ha			
Hyvin onnistuneet	0	0	48	8
Epäonnistuneet	51	69	35	8

Ero sekapuiden määrässä näiden kahden uudistusalaryhmän välillä on tosin hyvin selvä, mutta kun puiden määrä on kaikkiaan varsin vähäinen, ei sekapuulajien merkitys männyn uudistumista vaikeuttavana tekijänä liene ollut kovin suuri Metsä-Lapin uudistusaloilla. Koska siemenpuita on yleensä ollut riittävästi, olisi uudistaminen todennäköisesti saatu onnistumaan useilla niistäkin uudistusaloista, joilla se on epäonnistunut, jos olisi huolehdittu maanpinnan valmistamisesta tai eräissä tapauksissa suoritettu esikasvostaimiston vapauttaminen aikaisemmin. Näin voitaneen sanoa siitäkin huolimatta, että taimistojen tuhoalttius tässä vyöhykkeessä on varsin suuri. Täten uudistamismenettely näiden tutkimuskohteiden osalta on katsottava puutteelliseksi.

Vähintään välttäväksi arvostelluista taimistoista on tyydyttäviä 11. Lopuista 4 on lähellä tyydyttäviä, joten vain yksi uudistusala on lähellä kasvatuskelpoisten ja käyttökelvottomien rajaa. Uudistusalojen lopullinen ryhmitys on seuraava:

	kpl	Σkpl	%	Σ%
Uudistaminen onnistunut hyvin	8	8	33	33
» » tyydyttävästi ...	11	19	46	59
» » välttävästi	5	24	21	75
Yhteensä	24		100	
Menettely virheellinen	8	32		25
Uudistusaloja kaikkiaan	32			

Tunturi-Lappi. — Tunturi-Lappi käsittää männyn metsänrajan ja sen pohjoispuolisia seutuja, jonka takia sieltä kerätty aineisto ei ole verrattavissa eteläisempien vyöhykkeiden aineistoon. Jo Metsä-Lapissa ovat

olosuhteet uudistamisen kannalta selvästi suotuisammat (Mikola 1952, Siré n 1961 a). Edelleen metsän uudistamisella Tunturi-Lapissa on enemmän muita päämääriä kuin puuntuotanto, jonka takia esim. taimiston tiheyttä ei voida arvostella yksistään sen perusteella, mikä tulevan metsikön kuutiotuotto on (vrt. Mikola 1959, 1966b). Päätavoitteena ainakin luontaisessa uudistamisessa voitaneen pitää sitä, että ylipäänsä saadaan uutta puustoa. Seuraavassa esitetty taimistojen ryhmittely onkin toimitettu tältä pohjalta, joten se on subjektiivisempi kuin muista vyöhykkeistä esitetyt ryhmittelyt.

	kpl	Σkpl	%	Σ%	Uudistusalojen keskikorkeus, mpy
1. taimisto hyvä	2		8.4	8	244
2. taimisto vähintään välttävä ..	17	19	70.8	79	259
3. uudistaminen epäonnistunut .	5		20.8		319
Yhteensä	24		100		

Uudistusalojen lukumäärän perusteella ilmaistuna on ainakin välttäviksi katsottuja taimistoja melkeinpä yllättävän suuri osa (79 %) koko aineistosta. Hyviksi katsottavien taimistojen määrä on kylläkin kovin pieni.

Uudistusalojen korkeutta merenpinnasta ilmaisevat luvut osoittavat, että ne uudistusalat, joilla on tavattu taimistoa, sijaitsevat keskimäärin alempana kuin ne, joille ei taimistoa ole syntynyt. Onkin ymmärrettävää, että männyn levinneisyysalueen äärirajoilla korkeussuhteilla on tuntuva merkitys sen uudistumiselle.

Tunturi-Lapin uudistusaloilla siemenpuita oli yleensä vielä jäljellä. Täten uudistuminen saattaa vielä jatkua ja niillekin aloille voi aikanaan muodostua taimisto, joilla sitä ei vielä ole. Yleensä myös suurimmat taimet ovat tällä alueella siementämiskykyisiä. Siemenvuodet ovat kuitenkin erittäin harvinaisia. Niinpä edellä esitetyn kasvukauden keskilämpöä osoittavan piirroksen mukaan Tunturi-Lapin uudistusaloilla ei vuosina 1940—60 ole ollut yleisesti edellytyksiä siemenen tuleentumiselle ainoanakaan vuonna. Taimien syntymäaikaa koskevat havainnot osoittivatkin, että pääosa taimista oli peräisin jo vuosien 1937 ja 1939 siemensadoista tai taimet olivat syntyneet sitäkin aikaisemmin.

Tarkasteltaessa männyn luontaista uudistumista Tunturi-Lapissa on muistettava, että nykyiset männiköt tai mäntyesiintymät siellä ovat vain rippeitä aikaisemmista. Tällä alueella tiedetään varsinkin viime vuosisadalla tapahtuneen hyvin laajaa metsänhävitystä, jonka takia metsänraja on monin paikoin tuntuvasti alentunut (Renvall 1919). Sikäläisten mäntymetsien nykyinen tuotto on ehkä vain kymmenesosa niiden tuottokyvystä (Ruden 1949, Mikola 1952, Siré n 1961 b). Se seikka, että nämä metsänrippeet

ovat nyt esitetyn aineiston mukaan monin paikoin uudistumis- vieläpä laajenemiskykyisiä viittaa siihen, että mänty ajan mittaan leviäisi entisille kasvupaikoilleen, jos tätä edistettäisiin määrätietoisin toimenpitein, (vrt. Sotšava 1940, Govoruhin 1947, Tihomirov 1953, Andrejev 1954, Pjavtšenko 1957).

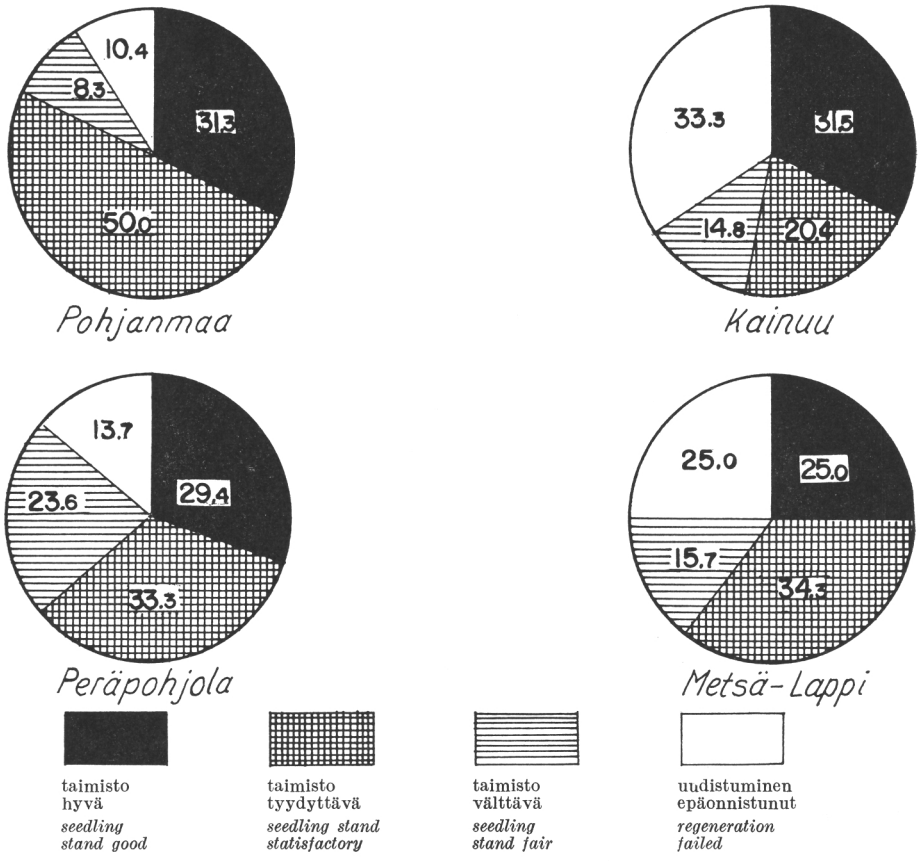
Siemenpuumenetelmän käyttökelpoisuus tutkimuskohteissa

Edellä esitetyn aineiston tarkastelun perusteella on laadittu oheinen asetelma uudistusalojen jakaantumisesta niillä tavatun taimiston metsittämisarvon perusteella hyviin, tyydyttäviin ja välttäviin. Aineistosta on jätetty pois ne uudistusalat, joilla siemenpuumenetelmän käyttö on todettu täysin epätarkoituksenmukaiseksi tai sen toteuttaminen vaillinaiseksi. Asetelmaan ei ole otettu mukaan Tunturi-Lappia, koska olosuhteet sen **osalta poikk**eavat jyrkästi muiden vyöhykkeiden olosuhteista.

	Hyviä		Tyydyttäviä		Hyviä ja tyydyttäviä yhteensä		Välttäviä		Yhteensä	
	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%
Pohjanmaa	15	35	24	55	39	90	4	10	43	100
Kainuu	17	47	11	30	28	77	8	23	36	100
Peräpohjola	15	34	17	38	32	72	12	28	44	100
Metsä-Lappi	8	33	11	46	29	79	5	21	24	100

Tämän ryhmityksen perusteella siemenpuumenetelmä ymmärettävästi on johtanut huomattavasti parempiin tuloksiin kuin s. 70 esitetyn alustavan tarkastelun mukaan. Niinpä vähintään tyydyttävästi metsittämiskelpoisten taimistojen osuus on varsin suuri, 72—90 %. Välttävästi eli ehdollisesti metsittämiskelpoisia taimistoja on 10—28 %.

Palautettakoon mieleen, että vain hyviksi arvostelluista taimistoista on odotettavissa täysituottoinen männikkö (ks. s. 69). Tyydyttäviksi arvosteltujen taimistojen osalta odotettavissa oleva tuottotappio on 5—20 %, mikäli vain mänty otetaan huomioon. Välttävien taimistojen ryhmässä jää männyn tuotto keskimäärin ehkä puoleen siitä, mikä se on hyviksi katsottujen ryhmässä. Sekapuulajien olemassaolo pienentää jossakin määrin näitä tuottotappioita, erityisesti välttäviksi arvioitujen taimistojen ryhmässä. Sen johdosta, että kyseessä olevilla, enimmäkseen verraten epäsuotuisilla kasvupaikoilla sekä koivun että kuusen tuotto on vähäinen, jää sekapuulajien merkitys tuottotappion pienentäjänä kuitenkin enimmäkseen vaatimattomaksi. Tämän takia näyttää siltä, että pelkästään puuntuotantoa silmällä pitäen arvioituna uudistaminen olisi katsottava epäonnistuneeksi useimmissa tapauksissa, joissa tuloksena on ollut vain välttäväksi arvosteltu taimisto. Tässä



Kuva 16. Uudistamisen onnistuminen sadanneksina eri vyöhykkeissä.
Fig. 16. Success of regeneration in different zones, expressed in percentage.

yhteydessä ei ole syytä puuttua kysymykseen, voitaisiinko tällaiset sekataimistot hyväksyä metsittämiskelpoisiksi siinä tapauksessa, että muutkin kuin tuotantonäkökohdat otetaan huomioon. Tällaisia näkökohtia ovat esim. taimiston perustamisen vaatimien kustannusten pienuus ja sekapuulajien muu kuin puuntuotannollinen merkitys. Kysymykseen tulee vielä eräitä muita näkökohtia, joita tarkastellaan seuraavassa luvussa.

HAVAINTOJA TAIMISTOTUHOISTA JA HOITOTOIMENPITEIDEN VIIVÄSTYMISESTÄ

Seikkaperäinen taimistotuhojen selvittäminen ei kuulunut tämän tutkimuksen piiriin, mutta sikäli kuin tuhoja havaittiin, tehtiin niiden esiintymisestä muistiinpanoja koealalomakkeessa tätä varten varattuun kohtaan. Täten tuhojen merkityksestä taimistoille saatiin yleiskäsitys, mutta vältyttiin syventymästä asiaan enemmän kuin käsillä olevan tehtävän kannalta oli tarpeellista. Erityisesti tarkkailtiin mahdollisten tuhojen merkkejä silloin, kun uudistaminen oli osittainkin epäonnistunut, vaikka sen hyvään onnistumiseen näytti olleen edellytykset maan taimettumiskunnon ja puuston siemennyskyvyn puolesta. Tällöin näet taimiston puuttuminen tai vajavaisuus saattoi johtua tuhonaiheuttajien esiintymisestä. Niinikään tarkkailtiin mahdollista tuhojen esiintymistä silloin, kun taimisto näytti tosin tiheytensä ja tasaisuutensa puolesta metsittämiskelpoiselta, mutta taimien pituuskasvu oli kauttaaltaan tai paikoitellen poikkeuksellisen heikko. Tällöin näet saattoi olla kyseessä krooninen tuho, jonka vaikutuksesta taajakin taimisto saattaa lopulta autioitua tai ainakin tuntuvasti harveta (K a n g a s 1937, s. 224—225). On myös huomattava tuoton menetys tällaisen kitumiskauden takia. Sitä vastoin jätettiin vähemmälle huomiolle yksittäisiin, varsinkin toisarvoisiin taimiin kohdistuvat tuhot taimimenetyksistä huolimatta tyydyttäviksi tai hyviksi katsotuissa taimistoissa. Tällaisilla tuhoilla ei näet ole taimiston metsittämisarvon kannalta sanottavaa merkitystä, vaan niiden voidaan sanoa kuuluvan metsän normaaliin kehitykseen (K a n g a s 1937, s. 49, S a r v a s 1944, s. 128). Itse asiassa saattaa heikkokuntoisiin taimiin kohdistuvista tuhoista olla tiheissä taimistoissa hyötyäkin, sillä näiden vaikutuksesta karsiutuvat pois yksilöt, joilla on alhainen vitaliteetti (S a r v a s 1964) ja samalla taimiston vallitsevan osan kasvutila lisääntyy samaan tapaan kuin harvennuksen vaikutuksesta. On myös tunnettua, että esim. lumikariste jouduttaa alaoksien kuolemista.

Aluksi esitetään yhteenveto sellaisista tärkeiksi katsotuista tuhoista, joista taimistoja inventoitaessa tavattiin vereksiä merkkejä ja tuhon laatu, mm. sen primaarisuus, oli siis vielä välittömästi havaittavissa. Tällainen tuho saattaa tietysti olla yhtä hyvin akuuttinen kuin krooninen. Jälkimmäisessä tapauksessa vereksien tuhotapahtumien tarkastelu kohdistui tuhoprosessin viimeksi esiintyneeseen vaiheeseen. Tuonnempana luodaan yleis-



Kuva 17. Taimisto pääosaksi täysitiheää ja elinvoimaista, mutta paikoin on tuhojen takia syntymässä aukkoja, kuten kuvassa etualalla. Ala 21 B. Veteli. Valok. K. E. huhtik. 1965.
Fig. 17. Most of seedling stand is fully stocked and vigorous but, seen in foreground, openings are about to form here and there as a result of injuries. Sample area 21 B. Veteli. Photographed by K. E.

katsaus sellaisiin tuhotapahtumiin, jotka olivat esiintyneet useita vuosia ennen tutkimusajankohtaa, mistä johtuen tuhon kulku ei yleensä ollut enää suoranaisin havainnoin todettavissa, vaan se jäi päätelmien varaan. Joissakin tapauksissa oli tällöin kysymyksessä sellaisen kroonisen tuhoprosessin varhainen vaihe, jonka myöhemmästä vaiheesta oli tutkimusajankohtana havaittavissa vereksiä merkkejä. Monesti taimien tuhoutuminen voitiin selittää ensi sijassa epäsuotuisista kasvuoloista johtuvaksi.

Tutkimusajanjaksona esiintyneet tuhot

Uudistusalat jaettiin kolmeen ryhmään sen mukaan, miten suuressa määrässä taimiston vallitsevaan osaan kohdistuvia vereksiä tuhoja niissä havaittiin. Ensimmäiseen ryhmään kuuluivat sellaiset uudistusalat, joiden taimisto oli autioitunut tai sen metsittämisarvo oli tuhojen johdosta muuten selvästi kauttaaltaan alentunut tai taimistoon oli muodostunut lukuisasti suuria aukkoja. Kaikkia tämän ryhmän tuhoja pidettiin ankarina. Toinen ryhmä käsitti taimistoja, joissa tuho oli esiintynyt joko verraten lievänä, mutta koko uudistusalalla tai paikoitellen mutta ankarana. Kummassakin tapauk-

sessa tuhot katsottiin koko taimistoa silmällä pitäen lieviksi. Kolmannessa ryhmässä tuho kohdistui yksittäisiin taimiin siten, ettei sillä ollut taimiston metsittämisarvon kannalta välittömästi sanottavaa merkitystä tai sitten ei havaittu juuri ollenkaan vallitseviin taimiin kohdistuvia tuhoja. Eri vyöhykkeiden uudistusalat jakautuivat näihin kolmeen ryhmään seuraavasti:

Vyöhyke	Tuhot			Uudistusaloja yhteensä
	ankaria kpl	lieviä kpl	merkityksettömiä kpl	
Pohjanmaa	2	8	38	48
Kainuu	2	6	46	54
Peräpohjola	3	11	37	51
Metsä-Lappi	2	9	21	32
Tunturi-Lappi	6	12	6	24
Yhteensä	15	46	148	209

Taimiston miltei täydelliseen autioitumiseen johtaneita tuhoja havaittiin ainoastaan Tunturi-Lapissa, jossa kaksi aikaisemmin metsittämiskelpoista taimistoa oli muuttunut metsittämiskelvottomaksi. Koska taimien lukumäärä näillä uudistusaloilla oli kuitenkin jo alun perin vähäinen, ei kuolleiden taimien määrä ollut kovin silmiinpistävä. Muillakin Tunturi-Lapin uudistusaloilla, joilla tuho katsottiin ankaraksi, tuhoutuneet taimimäärät olivat vähäisiä. Sama koskee tähän ryhmään kuuluvia Metsä-Lapin uudistusaloja.

Eteläisemmissä vyöhykkeissä ankarien tuhojen kohteeksi oli useassa tapauksessa joutunut täysitiheä taimisto. Erityistä huomiota kiinnitettiin uudistusaloihin 41 B, 52 B ja 122 B. Näissä oli lukumääräisesti riittävä tasainen ja puhdas männyn taimisto, mutta taimet olivat ikäänsä nähden lyhyitä, mutkaisia ja jatkuvasti kitukasvuisia. Taimissa havaittiin merkkejä monenlaisista hyönteis- ja sienivaurioista. Kun kasvupaikka oli kaikissa näissä tapauksissa erityisen karu, on hyvin todennäköistä, että kyseessä on samanlainen tuhomuoto, jonka Kangas (1940) on kuvannut mm. Pohjankankaalta. Kyseessä ei ollut kuitenkaan taimistojen autioituminen, vaan niillä näytti olevan toipumisedellytyksiä. Useimmissa muissa ankaran tuhon kohtaamissa taimistoissa tuho ilmeni suurena aukkoisuuden lisääntymisenä. Aukkojen välinen taimisto oli usein pääosaksi verraten tervettä ja hyväkasvuista.

Niissä tapauksissa, joissa tuhot olivat lieviä, oli jokseenkin poikkeuksetta kysymys taimiston aukkoisuuden lisääntymisestä, mutta aukot olivat tällöin enimmäkseen vähäisiä. Tämä ilmiö havaittiin koko tutkimusalueella luontaisten männyn taimistojen tyypillisenä piirteenä.

Merkityksetöntä taimien vaurioitumista ja kuolemista sieltä täältä havaittiin jokseenkin kaikilla niillä uudistusaloilla, jotka jäivät edellä esitettyjen kahden ryhmän ulkopuolelle. Todettakoon kuitenkin, että milloin tällainen

tuhomuoto on krooninen, se saattaa aikaa myöten käydä taimistolle kohtalokkaaksikin. Asiaan palataan tuonnempana.

Seuraavassa tarkastellaan muutamia merkityksellisiksi katsottuja tuholajeja, joita tavattiin uudistusaloilla tai joiden otaksutaan luonteenomaisten merkkien perusteella olleen havaittujen tuhojen aiheuttajana.

Männyn taimissa esiintyneet tuhot jaettiin kahteen pääryhmään: 1. silmu-, verso- ja neulastuhot ja 2. runko- ja juurituhot. Juurituhojen selvittäminen jäi kuitenkin verraten vähäiseksi. Tuhonaiheuttajalajin nimeämistä ei yleensä pidetty välttämättömänä, mutta eräitä tärkeimpiä onnistuttiin määrittämään.

Edellisessä tuhoryhmässä olivat yleisesti merkityksellisimpiä karistetautien, erityisesti lumikaristeen (*Phacidium infestans* Karst.) ja vähemmässä määrin männyn karisteen [*Lophodermium pinastri* (Schrad) Chev.] sekä männynversoruosteen (*Melampsora pinitorqua* Rostr.) aiheuttamat tuhot. Vain poikkeustapauksissa havaittiin merkittäviä tähän ryhmään kuuluvia hyönteisten tai isompien eläinten aiheuttamia tuhoja. Viimeksi mainituista tulivat kysymykseen erityisesti hirven ja poron aikaansaamat taimimenetykset.

Runko- ja juurituhot olivat pääosaksi hyönteisten aiheuttamia. Näistä osoittautui huomattavimmaksi tukkimiehentäi (*Hylobius abietis* L.). Tämän kovakuoriaisen tekemiä syömäjälkiä ei kuitenkaan onnistuttu pitämään varmasti erillään taimissa esiintyneistä männynnilurin (*Hylastes brunneus* Er., ent. *Hylastes ater* Payk.) syömäjäljistä (Lekander 1965). Eräissä aikaisemmissa meikäläisissä tutkimuksissa männynnilurilla on todettu olevan merkitystä alikasvostaimien (Vaartaja 1951 s. 70—71) ja viljelytaimien (Juutinen 1962, s. 21) tuholaisena, kun taas Saalas (1949) ei pidä sitä meillä merkityksellisenä. Myös eräiden muiden hyönteisten ja pikkujyrsijöiden havaittiin aiheuttaneen taimille runkovaurioita. Tällaisten muiden runkotuhoja aiheuttaneiden eläinten esiintyminen näytti olevan paikallisempaa kuin tukkimiehentäin, mutta niillä saattaa olla ajoittain hyvinkin suuri merkitys (vrt. Wegge 1967).

Eläinten ohella oli runkotuhoja aiheuttanut tervasroso (*Peridermium* spp.). Tätä tavattiin kaikissa vyöhykkeissä, mutta sen aiheuttamat verekset tuhot eivät olleet juuri missään erityisen merkityksellisiä, sillä se oli tappanut taimia yksittäin. Huomattakoon kuitenkin, että Juutinen (1958) luetellessaan suojametsäalueen männyn taimien muotovikaisuutta, kitumista ja kuolemista aiheuttavia tekijöitä asettaa tervasroson ensimmäiselle sijalle. On todennäköistä, että tässäkin tutkimuksessa tervasroson merkitys olisi arvioitu suuremmaksi, jos ei sen osalta olisi rajoituttu vereksiin tapauksiin, sillä se on luonteenomainen krooninen tuholaji. Taimissa esiintyessään tervasroso on primaarinen ja joko suoranaisesti tai seuraustuhojen takia yleensä nopeasti tappava (Kangas 1937, s. 97—98).



Kuva 18. Siemenpuiden kantojen ympärillä aukkoja. Huomaa viistossa olevat pienet taimet ja alaspäin taipuneet ison taimen oksat — nämä ovat olleet talvella lumen sisällä ja siten alttiina lumikaristeelle. Ala 13 B. Purmo. Valok. K. E. huhtik. 1965.

Fig. 18. There are holes around the stubs of seed trees. Note small seedlings in a slanting positio and downward bent branches of tall seedlings — they have been buried in snow in winter and thus exposed to Phacidium infestans. Sample area 13 B. Purmo. Photographed by K. E.

Toinen tutkimusalueen taimistoissa jatkuvia runkotuhoja aiheuttava sienitauti on männynsyöpä (*Dasyscypha fuscosanguinea* Rehm.). Tästä taudista ei tavattu tutkimuskohteissa vereksiä esiintymiä kuin satunnaisesti, mutta aikaisempien tutkimusten perusteella tiedetään, että se on varsin yleinen Pohjois-Suomen kuivilla kangasmailla. Sen esiintyminen poikkeaa tervasroson esiintymisestä mm. sikäli, että se ei pienissäkään taimissa ole lähes kään aina heti tappava, vaan usein kestää 2—3 vuotta, ennen kuin sieni on kiertänyt taimen rungon ympäri ja saastuneen kohdan yläpuolinen taimen osa alkaa kuivua. Männyn syöpää tavataan usein rungon tyvessä ja se on melko primaarinen (Kangas 1937, s. 98—99). Kujala (1950, s. 27) on tavannut tätä tautia pienissä kuivan kankaan männyn taimissa mm. Sodankylän alueella. Eräällä uudistusalalla oli paikoin 5 % taimista sienen saastuttamia, mikä Kankaan (1937, s. 225) mukaan saattaa johtaa taimiston autioitumiseen. Juutinen (1958) pitää männyn syöpää suojametsäalueella tärkeänä männyn taimistojen tuhonaiheuttajana. Repnevski (1961c) mainitsee sen esiintyvän haitallisena Kuolan niemimaalla.

Lumikaristeen ja muiden 1. ryhmään kuuluvien tuhonaiheuttajien tuhoja havaittiin koko tutkimusalueella 12 uudistusalalla niin paljon, että sen johdosta näytti tulevan merkitsevästi lisää aukkoja. Nämä taimistot olivat kauttaaltaan verraten matalia, jonka takia paljon taimia oli jäänyt talvella pääosaksi lumen peittoon. Muut taimistot olivat suurimmaksi osaksi lumen maksimikorkeuden selvästi ylittäneitä, joten mikäli lumikaristetta niissä esiintyi, neulasten kuivuminen rajoittui etupäässä taimien tyviosien oksakiehkuroihin. Tosin myös näiden varttuneempien taimistojen mataliin kohtiin aiheutui tuhon johdosta jokin uusi aukko. Tällaisia taimiston »aallonpohjia» havaittiin tietenkin erityisesti niissä paikoissa, joissa oli viimeksi ollut siemenpuita. Silmiinpistävimpiä karistetuhotapauksia tavattiin uudistusalalla 121 B. Siellä oli n. 30 % metsittämiskelpoisten taimien määrästä ja pääosa muista taimista pahasti saastunut. Tämän johdosta oli mainitun uudistusalan täysitiheästä taimistosta muodostumassa harva ja aukkoinen. Huomattavia karistetuhoja esiintyi myös uudistusaloilla 301 ja 302, joilla niinikään alun perin täysitiheä taimisto oli muuttumassa aukkoiseksi.

Lumipeitteen paksuuden vaikutus lumikaristeen tuhoisuuteen ansaitsee lähempää tarkastelua. Oheinen Morozin (1964) Neuvosto-Karjalassa tekemiensä tutkimusten perusteella laatima lukusarja valaisee taimien pituuden ja niiden tuhoutumisalttiuden välistä riippuvuutta.

Taimien pituus, cm ..	10	20	30	40	50	60	70	80—100
Sairastuneista taimista kuollut, %	98	93	80	57	21	8	1	alle 1

On valaisevaa verrata näitä taimipituuksia tämän tutkimuksen taimipituuksiin. Tätä varten esitetään seuraavassa asetelmassa taimistojen keskipituudet vyöhykkeittäin, hakkuuta edeltävä ja hakkuun jälkeinen taimiston osa erikseen. Lisäksi mainitaan, montako prosenttia kumpiakin taimia on kaikkien metsittämiskelpoisten taimien määrästä k.o. alueella.

	Ennen hakkuuta syntyneet yli 0.1 m pitkät taimet	Hakkuun jälkeen syntyneet yli 0.1 m pitkät taimet
Pohjanmaa	186 cm (32 %)	63 cm (68 %)
Kainuu	121 » (25 %)	51 » (75 %)
Peräpohjola	156 » (31 %)	52 » (69 %)
Metsä-Lappi	131 » (47 %)	28 » (53 %)

Kun verrataan näitä keskimääräisiä taimipituuksia Morozin esittämiin kuolleisuuslukuihin, käy selville, että kaikissa vyöhykkeissä ennen hakkuuta syntynyt taimiston osa on ilmeisesti lähes kokonaan ohittanut uhanalaisen kautensa. Ennen hakkuuta syntyneiden taimien määrä koko metsittämiskelpoisesta taimimäärästä on 25—47 %. Täten merkitsevä osa

uudistusalojen metsittämiskelpoisten taimien määrästä on lumikaristeelta turvassa. Hakkuun jälkeen syntyneiden taimien osalta tilanne on paljon huonompi. Morozin mukaan taimien kuolleisuus vähenee melko jyrkästi pituusrajojen 40—60 cm välillä. Täten näyttää siltä, että hakkuun jälkeen syntynyt taimisto on tutkimusajankohtana ollut Pohjanmaan, Kainuun ja Peräpohjolan vyöhykkeissä parhaillaan siirtymässä lumikaristeeseen kuolleisuuden kannalta aralta kehitysasteelta kestävälle. Sitä vastoin Metsä-Lapissa pääosa hakkuun jälkeisistä taimista oli vielä erittäin aralla asteella. Toisaalta Metsä-Lapin aineistossa on enemmän ennen hakkuuta syntyneitä kookkaita taimia (47 %) kuin eteläisempien vyöhykkeiden aineistossa.

On kuitenkin huomattava, että Morozin ilmoittamat luvut eivät ehkä tarkalleen päde tutkimusalueen olosuhteissa, koska mm. lumipeitteen paksuudessa on eroa. Yksin tutkimusalueenkin piirissä vaihtelee lumen keskisyvyys maaliskuun 15. päivänä siten, että se on Kainuussa 20—30 cm suurempi kuin Pohjanmaalla ja 10—20 cm suurempi kuin Lapissa (Keränen ja Korhonen 1949, s. 17). Lisäksi eri seutujen paikallinen mäntyrotu on karisteenkestävyydeltään erilaista (Björkman 1948). Joka tapauksessa käy esitettyä taustaa vasten helposti ymmärrettäväksi se tosiasia, että tutkituilla uudistusaloilla karistetuhot ovat ani harvoissa tapauksissa muodostuneet koko taimiston olemassaoloa uhkaaviksi. Tämä toteamus antaa aiheen kiinnittää huomiota siihen, ettei luonnon taimiston yleensä epätasainen pituusjakaantuminen ole yksinomaan haitta. Päin vastoin se on takeena siitä, että osalla taimista on yleensä mahdollisuus selviytyä elossa pahoinakin tuhovuosina. Verrattuna tasakorkuiseen viljelytaimistoon on tutkittavana olevalla tavalla syntynyt luonnon taimisto ilmeisesti siten kestävämpi täydellistä tai melko täydellistä autioitumista vastaan (vrt. Kangas 1937, s. 223, Melehov 1966).

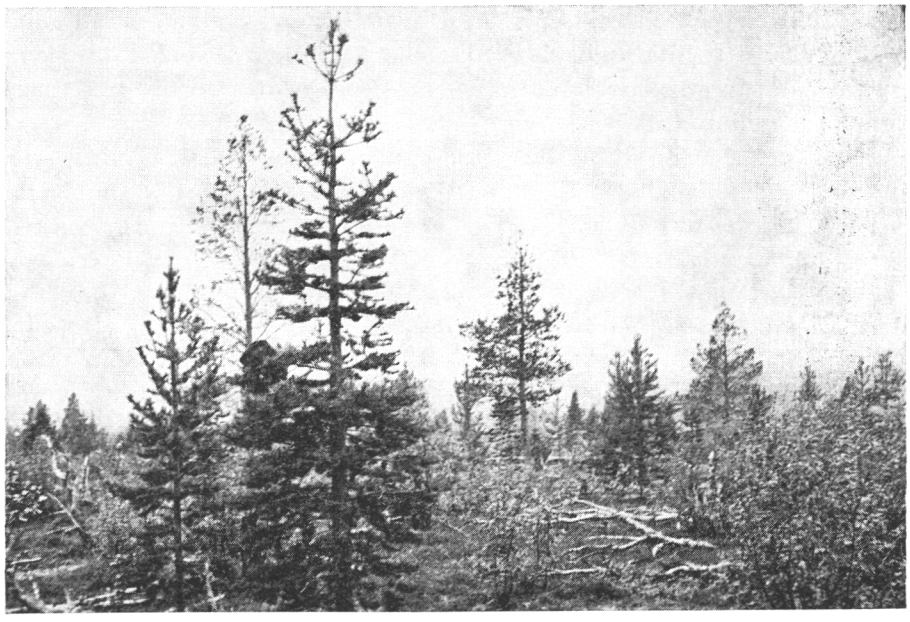
Lumikaristeen esiintymisestä ja merkityksestä männyn uudistamisessa on kirjoitettu laajalti eri maissa (Aaltonen 1919, Kangas 1937, Björkman 1948, Štšedrova 1959, 1962, Moroz 1964, Kossinskaja 1967). Esitetyistä tiedoista voidaan tehdä mm. se päätelmä, ettei tätä tautia esiinny merkitsevässä määrin seuduilla, missä lumipeitteen keskimääräinen maksimipaksuus on pienempi kuin 50 cm. Toisena sairauden levenemisen edellytyksenä on taimiston suuri tiheys sen ensimmäisten elinvuosien aikana. Taudista näyttävät kärsivän pahimmin matalan taimiston kehittyneimmät, tiheäneulaisimmat yksilöt, siis hyväkasvuiset taimet. Tuhot ovat suurimmat kuivilla varsinkin korkealla merenpinnasta sijaitsevilla kangasmailla mm. siitä syystä, ettei näillä kasva heinää eikä vesaikkoa. Lisäksi taimet kehittyvät tällaisilla kasvupaikoilla hitaasti, minkä takia ne pysyvät pitkään niin pieninä, että jäävät talvisin kokonaan lumen peittoon. Lumikaristetta tavataan eniten sellaisissa maastokohdissa, joihin kasaantuu runsaasti lunta ja joilta se sulaa keväällä hitaasti, kuten pohjoisrinteillä ja

mättäisillä tasangoilla. Erityisen suuressa vaarassa ovat taimet männyn hakkuujätteitä käsittävillä uudistusaloilla, sillä näille kertyy paksu lumikerros ja tautia esiintyy myös hakkuutähteiden elävissä neulasissa, joista se pääsee leviämään taimiin.

Männynversoruosteen merkitys tutkituilla uudistusaloilla oli verraten vähäinen. Tämä on yllättävää kun toisaalta on tunnettua, että mainittu tauti on tutkimusalueella yleinen ja haitallinen männyn taimistoissa. Asia käy kuitenkin ymmärrettäväksi, kun tiedetään, että männynversoruoste on tuhoisin 1—2-vuotisille taimille, jollaisia ei tämän tutkimuksen yhteydessä otettu huomioon. Isommat taimet yleensä selviävät taudista elossa, ja huomattava vikaisuuskin on verraten harvinaista. Huomattakoon myös, että männynversoruoste näyttää olevan yleisin tuoreiden maiden tiheissä taimistoissa, ja tutkituilla uudistusaloilla nimenomaan viljavien maiden taimistot olivat säännöllisesti harvoja. Lisäksi saattaa taudin verraten vähäiseen esiintymiseen tutkituilla uudistusaloilla vaikuttaa se, että haapa oli varsin yleisesti hävitetty jo ennen uudistamiseen ryhtymistä (vrt Štšedrova 1962).

Eräillä sellaisilla Pohjanmaan, Kainuun ja Peräpohjolan uudistusaloilla, joilla oli edellisinä vuosina kaadettu siemenpuita, havaittiin tavallista runsaammin pienikokoisten taimien kuolemista niiden tyvessä olevien ilmeisesti etupäässä *Hylobiuksen* tekemien syömäjälkien takia. Täten aiheutui saman tapaista taimiston aukkoisuuden lisääntymistä kuin karistetaudin vaikutuksesta. Usein tosin molemmat tuholajit näyttivät esiintyvän yhdessä, mikä onkin ymmärrettävää, kun muistetaan niiden eräissä kohdin samat esiintymisedellytykset. Myös uudistusalojen viereisissä metsissä suoritettujen hakkuiden todettiin lisänneen taimien tyveen kuorivaurioita aiheuttavien hyönteisten esiintymistä. Nähtävästi tiheään toistuneiden hakkuiden seurauksena syntyneet kannot ja kuorikasat ovat tarjonneet tällaisille hyönteisille monilla tutkituista uudistusaloista erityisen hyvät lisääntymismahdollisuudet (vrt. Kangas 1931, s. 18, Saalas 1949, Brammanis 1956, Juutinen 1962, s. 18). Tavallista paremmat edellytykset tukkimiehentäin aiheuttamille tuhoille tällaisista syistä oli ollut uudistusaloilla 53, 31 B, 361 ja 52 B. Pääosat useimpien muiden uudistusalojen taimistoista olivat jo niin pitkälle varttuneita, ettei hiljattain tapahtuneita tukkimiehentäin aiheuttamia tuhoja ollut esiintynyt.

Myös Neuvosto-Karjalassa on tukkimiehentäi osoittautunut erittäin yleiseksi nuorten männyntaimien vaurioittajaksi. Niinpä siellä tehdyissä tutkimuksissa mainitaan 90 % mäntyalikasvoksesta vioittuneen neljän ensimmäisen vuoden aikana vapauttamishakkuusta lukien. Siellä missä on tällöin ollut lähellä uusia hakkuualoja, ovat tuhot jatkuneet tämän ajan jälkeenkin. Pahimmin alttiina *Hylobiuksen* vioituksille ovat olleet taimet, joiden pituus on ollut 20—50 cm. Alle 25 cm pitkiin taimiin kohdistuneet vioitukset ovat



Kuva 19. Eri-ikäistä, neulastuhojen pahasti vaivaamaa kuivan kankaan (MCClT) taimistoa Metsä Lapissa. Ala 333. Inari, Angeli. Valok. K. E. heinäk. 1964.

Fig. 19. An unevenaged seedling stand on Calluna-type site in Forest Lapland. Considerable devastation of needles. Sample area 333. Inari, Angeli. Photographed by K. E.

olleet taimille tuhoisimpia. Tuhojen merkitystä arvioitaessa korostetaan sitä, että silloinkin kun taimi ei kuole vioituksen johdosta sen pituuskasvu vähenee ja se on altis muille tuhoille (Šiperovitš ym. 1959). Neuvosto-Karjalassa on muuan *Hylastes*-laji, jota sikäläisessä kirjallisuudessa kutsutaan Siperian niluriksi (*H. aterrimus* Egg.), erittäin yleinen ja vahingollinen männyn taimistoissa. Hansenin (1954) mukaan tämä laji on sama kuin *H. brunneus* Er. Siperian nilurin sanotaan tekevän suurinta tuhoa 3—5 vuotta uudistushakkuun jälkeen. Eräissä siellä tutkituissa taimistoissa tämän hyönteisen vioittamien taimien määrä oli 71 % ja näistä kuolleita oli 40 %. Erityisen mielenkiintoista on, että Siperian nilurin on todettu vioittavan alikasvostaimiston parhaita yksilöitä. Kyseessä olevat tutkimukset on tehty Prioneškin, Prääsän, Kontupohjan, Belomorskin ja Vienan Kemin alueilla v. 1954—1956 (Titova 1959, 1961). Repnevskin (1961c) mukaan *H. ater*, jolla hän ilmeisesti tarkoittaa männynniluria, esiintyy Kuolan niemimaalla merkittävänä tuhonaiheuttajana. Kaikesta päättäen sama hyönteislaji on yleinen myös Ruotsissa ja Norjassa (vrt. Lekander 1965).

Sikäli kuin tiedetään, saattavat eräät muutkin hyönteistuhot tutkimusalueella muodostua joinakin vuosina hyvin merkityksellisiksi taimiston kehityksen esteeksi (vrt. Kangas 1937). Nyt tutkituilla uudistusaloilla ei kuitenkaan havaittu muita läheskään yhtä merkitseviä hyönteistuhoja.

Koko tutkimusalueella ei näin ollen havaittu maastotöiden ajankohtana kuin muutamilla uudistusaloilla sellaisia hiljattain esiintyneitä tai vielä tapahtumassa olevia kasvitautien ja hyönteisten aiheuttamia taimistotuhoja, joilla on ratkaiseva merkitys taimiston metsittämisarvon kannalta. Mahdollisesti maastotöiden ajankohta sattui sellaiseen jaksoon, jolloin luontaisilla männyn uudistusaloilla esiintyi tavallista vähemmän taimiston vallitsevaan osaan kohdistuvia tuhoja. Ainakaan erityisen huomattavia akuuttisten tuhojen esiintymisvuosia nämä vuodet (1963, —64 ja —65) eivät tiettävästi olleet. Merkkejä sellaisesta käynnissä olevasta taimiston autioitumisesta, josta Kangas (1937, 1940) esittää useita esimerkkejä sekä tutkimusalueelta että etelämpää, ei havaittu ainoallakaan uudistusalalla. Toisaalta on huomattava, että vaikka parhaillaan tuhoutumassa olevien taimien määrä olisikin jonakin tiettynä ajankohtana vähäinen, esim. 5 % taimimäärästä, saattaa sen merkitys olla ajan mittaan melkoinen, jos kyseessä on useiden vuosien ajan vaikuttava tuholaji. Itse asiassa taimiston olemassaolo on tällöin jo pahasti uhanalainen (Kangas 1937, s. 225). Katsaus tutkimusalueen taimistotuhoja koskevaan kirjallisuuteen (esim. Aaltonen 1919, Kangas 1937, s. 217, Saalas 1949, Mikola 1950, 1952) osoittaa, että silloin tällöin sekä akuuttiset että krooniset taimituhot ovat saavuttaneet siellä huomattavan suuret mittasuhteet. Merkittävänä tuhovuotena mainitaan 1902, jolloin männyn taimivarojen sanotaan vähentyneen koko pohjoisen Fennoskandian alueella. Mikola (1952, s. 13 ja 16) otaksuu, että syynä oli suotuisien ja epäsuotuisien sääsuhteiden yhteensattuma. Tällöin kesä 1901 oli puiden kasvulle edullinen, jonka takia mäntyihin tuli seuraavana kesänä harvinaisen pitkät kasvaimet. Nämä kuitenkin paleltuivat syyshallan takia. On mahdollista, että tämänlaatuisten tuhojen yhteydessä esiintyy myös *Scleroderris lagerbergii* Gremmen niminen sieni. Talvea varten riittämättömästi karaistuneet taimet näyttävät näet olevan sille alttiita (vrt. Kurkela 1967). Tämä tauti näyttää olevan tutkimusalueella paikoin varsin yleinen pienten männyn taimien tuhonaiheuttaja. Myös 1920-luvulla koko Pohjois-Suomessa esiintyi erityisen laajoja männyntaimituhoja, joiden pääasiallinen aiheuttaja oli lumikariste (Kangas 1937, s. 216—217). Erityisen pahoiksi taimimenetykset saattavat muodostua silloin, kun esiintyy usean tuholajin yhteensattuma. Niinpä kun männynversoruoste turmelee taimien latvaosan ja lumikariste latvuksen alapuolen, ovat sen elossa säilymisen mahdollisuudet vähäiset. Samoin on laita, jos karisteen esiintymisen yhteydessä ilmaantuu runsaasti *Pissodes*-suvun kärsäkkäitä, versokääriäisiä *(Evetria)* ja pienehköjen taimien kyseen ollen tukkimiehentäitä tai männynnilureita (Kangas 1937, Šiperovitš ym. 1959, Moroz 1964, Melehov 1966). Toisaalta on huomattava, että mainitunlaiset tiedot taimistotuhoista koskevat usein viljelytaimistoja, toisinaan taas erityisen laihojen maiden kulonjälkeisiä luonnon taimistoja (esim. Kangas 1937).

Näitä ei ole syytä rinnastaa siemenpuualoille syntyneisiin luontaisiin taimistoihin. On vielä syytä muistaa, että varsinaisissa taimituhoja koskevissa tutkimuksissa on usein tarkoituksellisesti etsitty taimistoja, joissa näyttää olevan monenlaisia tuhoja. Todettakoon myös, että Tunturi-Lappi ja Metsä-Lapin korkealla merenpinnasta sijaitsevat osat ovat taimien toimeentulon kannalta ilmeisesti huonommassa asemassa kuin eteläisemmät alueet (Hustich 1948, Mikola 1952, s. 161, Sirén ym. 1958).

Arvosteltaessa taimistotuhojen yleistä merkitystä tutkimusalueella on vielä huomattava, että käsitetävänä oleva aineisto ei käsitä ainoatakaan viime vuosikymmenien aikana perusteellisesti palanutta uudistusalaa. Tällaisilla ja varsinkin moneen kertaan lujasti palaneilla alueilla taimistotuhot ovat tunnetusti usein erityisen vaikeita (T. J. Blomqvist 1905, Sarvas 1937, Kangas 1937, 1940).

Sellaisista yleistä mielenkiintoa herättäneistä tuholajeista, joita tutkimusalueella tiedetään esiintyvän, mutta joita nyt kerättyyn aineistoon ei mainittavasti sattunut, ansaitsevat vielä huomiota poron (*Rangifer tarandus* L.) ja hirven (*Alces alces* L.) aiheuttamat tuhot. Peräpohjolan, Metsä-Lapin ja Tunturi-Lapin tutkimuskohteissa tehdyissä muistiinpanoissa esiintyy kyllä poron aiheuttamia taimituhoja, mutta ei ainoallakaan uudistusalalla niin paljon, että niillä olisi katsottu olevan merkitystä koko taimiston metsittämisarvoa ratkaistaessa Poron aiheuttamista tuhoista on kirjallisuudessa lukuisia, osittain ristiriitaisia, mainintoja. Aaltonen (1915, 1919) pitää porojen männyn taimistoissa aiheuttamia tuhoja merkityksellisinä vain, jos uudistuminen jostakin muusta syystä on vaikeaa. Hänen mukaansa ovat tällöin haitallisimpia kelomis-, kaivu- ja polkuvauriot. Suotuisissa uudistusoloissa runsaatkin tuhot haittaavat vähemmän. Renvall (1919, s. 89—127) on todennut tuhojen määrän nousevan matalissa (0.5—1.5 m) taimistoissa yli 50 %:n ja, päinvastoin kuin Aaltonen, pitää näitä tuhoja yleisesti merkityksellisinä. Kangas puolestaan (1937, s. 111) yhtyy pääpiirtein Aaltoseen, pitäen porojen aiheuttamia tuhoja tutkimillaan Pohjois-Suomen alueilla vähämerkityksellisinä. Tosin hänen tutkimuskohteensa käsittävät etupäässä sellaisia taimistoja, joissa porot eivät mielellään liiku, mutta mainittavia tuhoja ei esiintynyt suoritettujen havaintojen mukaan myöskään muunlaisissa taimistoissa. Viime aikaisista tutkimusalueella tehdyistä havainnoista mainittakoon metsät. lis. Erkki Nummisen Kolarin kunnassa talvella 1967—68 toteama tuho, jossa porolauma kovalla pakkasella liikkuessaan katkoi tällöin hyvin hauraita männyn taimia ja aiheutti — tosin pienellä alueella — tuntuvia vaurioita.

Andrejev (1954) mainitsee Neuvostoliiton pohjoisosissa todetun taimia kuolleen porotuhojen johdosta 12—72 % (puulajeja ei mainita). Hän ditää tämän perusteella porojen aiheuttamia tuhoja huomion arvoisina niissä

oloissa (Siperian metsäsaarekkeissa). Olosuhteet ovat siellä kuitenkin toisenlaiset kuin tutkimusalueella siten, että poroille suotuisa elintila on rajoitetumpi.

Ruotsissa on Arnborg (1955) havainnut huomattavia poron männyn taimille aiheuttamia tuhoja voimakkaasti laidunnetulla alueella. Tietoja poron luontaisille männyn taimistoille aihuettamista vaurioista Finnmarkissa esittää Bergan (1962). Kaikista vaurioituneista taimista oli hänen aineistossaan runsaasti 60 % porojen vioittamia.

Kun nyt kootun ilmeisesti huomattavasti useimpia edellä selostettuja laajemman, joskin ehkä ylimalkaisemman, havaintoaineiston perusteella arvioiden nykyisen porokannan aiheuttamat tuhot ovat kokonaisuuden kannalta jokseenkin vähän merkitseviä, näyttää siltä, että Aaltonen (1919) on osunut arvioinnissaan tämän eläimen merkityksestä männyn luontaiselle uudistumiselle tutkimusalueen olosuhteissa jotakuinkin oikeaan. Porojen aiheuttamista taimistotuhoista puhuttaessa ei ole unohdettava niiden tuottamaa hyötyä, mikä on ollut esillä edellä käsiteltäessä maan taimettumiskuntoa.

Hirven esiintymisestä taimistoissa havaittiin merkkejä kaikissa vyöhykkeissä, mutta ainoassakaan tapauksessa ei havaittavissa ollut tuho ollut niin laaja, että sen perusteella olisi jouduttu alentamaan taimiston metsittämisarvoa. Sitä vastoin kirjallisuudessa tavataan paljonkin mainintoja hirven vahingollisuudesta männyn taimistoille. Niinpä Kankaan (1937, 1949) pääasiassa Etelä-Suomessa tehtyjen tutkimusten mukaan hirven aiheuttamat tuhot ovat männyn taimistoille varsin haitallisia silloin, kun hirviä esiintyy niissä runsaasti. Valitsemalla koealoja taimistoista, joissa on ollut pahanlaatuisia tuhoja, hän on päätynyt tulokseen, että jokseenkin kaikki männyn taimet ovat joutuneet kärsimään tuhoista silloin, kun tuhot ovat jatkuneet useamman vuoden samalla alueella. Hänen tutkimiensa koealojen männyn taimista on katsottu toipumiskyvyttömiksi n. 28 %. Erityisen huomattavaa on, että hirven aiheuttamat tuhot ovat kohdistuneet suuressa määrin taimiston kehityksen kannalta arvokkaisiin, elinvoimaisiin, yli 1 m pitkiin taimiin, jotka yleensä jäävät muilta tuhonaiheuttajilta rauhaan (ks. myös Juutinen 1962, s. 35). Toisaalta Kangas mainitsee, että männyn toipuminen hirven tuhojen jäljeltä on yleensä verraten hyvä. Tästä johtuen tuhojen lopullinen merkitys ei ole usein niin suuri kuin heti sen tapahduttua voisi ajatella. Tuhot ovat yleisimmin alkaneet taimien saavutettua 1 m:n korkeuden ja jatkuneet siihen saakka, kunnes taimet ovat 2.5—3 m:n pituisia. Tallaamisvaurioita tietysti havaitaan pienimmissäkin taimissa. Sainion (1956a) ja Suomuksen (1965) mukaan hirvelle ovat erityisen mieluisia aluksi kituneet, mutta myöhemmin elpyneet männyn taimet ja versot.

Yli-Vakkurin (1956) tutkimusten mukaan hirviä on esiintynyt yleisesti männyn kylvötaimistoissa Pohjanmaalla, mutta niiden aiheuttamilla vaurioilla ei näytä olleen sanottavaa merkitystä. Mainittu tekijä esittää myös havaintoja siitä, että hirven aiheuttamat vauriot ovat yleisempiä lehtipuunsekaisissa epätasaisissa ja repaleisissa kylvötaimistoissa kuin tasaisissa ja hyvin hoidetuissa taimistoissa, ja että hirvi nähtävästi viihtyy paremmin ensiksi mainituissa. — Muistettakoon kuitenkin tässä yhteydessä, että nyt tutkitut luontaiset taimistot ovat yleisesti lehtipuunsekaisia ja hoitamattomia, mutta silti hirven aiheuttamat vauriot ovat jääneet vähäisiksi.

Hirven aiheuttaman vahingon määrään vaikuttaa tietenkin näiden eläinten runsaus asianomaisella seudulla. Yleensä katsotaan, että hirvien lukumäärä ei saisi ylittää 3—4 yksilöä 1 000 metsähehtaaria kohden, jotta tuhot eivät muodostuisi kohtuuttoman suuriksi. Alueella, jolla on runsaasti erilaisia taimistoja, voi määrä olla suurempikin, 10—15 yksilöä 1 000 ha kohden; Ruotsissa on poikkeustapauksissa sallittu suurempiakin määriä (Sainio 1956a,b,c, Treskin ja Polevoj 1960, Suomus 1965). Dinesmanin (1957) mukaan hirven aiheuttamat vahingot eivät ole merkityksellisiä, jos kutakin tietyllä alueella olevaa hirveä kohden on vähintään 25 ha nuorta mäntymetsää. Sukatšev (1964) mainitsee, että jos hirviä on 3 kpl/km², on niiden syömä versojen määrä vain joitakin kymmeniä kg/ha, kun taas ravintopuiden vuotuinen kasvu ja kuoleminen käsittää useita tuhansia kg/ha.

Yleensä on huomattavimmat hirven aiheuttamat tuhot tavattu alueilla, missä laajojen yli-ikäisten metsien keskellä on suhteellisen pienialaisia männyntaimistoja, joihin hirvet talvella kerääntyvät ravintoköyhästä ympäristöstä (Suomus 1965). Näyttää myös siltä, ettei hirvi erityisesti suosi sellaisia kuivien kangasmaiden männyn taimistoja, jollaisia monet tämän tutkimuksen uudistusalat ovat, jos vain läheisyydessä on suolla kasvavia taimistoja, erityisesti jos suon pH on verraten korkea (Sainio 1956c). Tällaisissa suotaimistoissa tuhot saattavat nousta hyvinkin suuriksi. Palautettakoon mieleen, että tämän tutkimuksen männyn taimistot ovat hyvin yleisesti kangasmailla, jotka rajoittuvat taimistoa kasvavaan suohon tai joiden halki kulkee suojuotteja.

Poro ja hirvi ovat muihin tuhonaiheuttajiin verrattuna sikäli erikoisasemassa, että niiden lukumäärä on täysin ihmisen valvonnassa. Jos katsotaan, että nykyiset eläinkannat haittaavat liiaksi metsän uudistamista näiden eläinten tuottamaan hyötyyn verrattuna, voidaan niiden määrää helposti supistaa, jolloin myös tuhot varmasti vähenevät. Nyt esitetyn aineiston valossa ei tutkimusajankohtana kummankaan eläimen lukumäärä ollut koko tutkimusalueen keskimääränä niin suuri, että niiden tuottamalla tutkimusvuosina havaittavissa olleella haitalla olisi ollut yleistä merkitystä tutkitun tyyppisille luontaisille kangasmaiden männyn taimistoille. Tämän perusteella

voitaneen sanoa, että runsaiden luontaisten taimivarojen ylläpitäminen tekee mahdolliseksi ainakin nykyisen laajuisen hirvi- ja porokannan ilman yleisesti tuntuvia taloudellisia menetyksiä, mikäli perusteena pidetään taimiston kustannusarvoa.

Esimerkkinä sellaisista tuhonaiheuttajista, joita tutkimusalueella ei toistaiseksi liene sanottavasti havaittu, mutta joita siellä saattaa esiintyä, mainittakoon kastanjaturilas (*Melolontha hippocastani* F.). Maamme itäpuolella sen esiintymisalueen raja on mm. Melehovin (1966) esittämien tietojen mukaan siirtynyt viime vuosina intensiivisesti pohjoiseen päin ja nykyisin sitä tavataan Arkangelin alueen pohjoisimmistakin piireistä, varsinkin jäkälä-, kanerva- ja puolukkatyypin (sikäläisen luokituksen mukaan) uudistusaloilta. Näillä se aiheuttaa vaurioita nuorille männyn taimistoille. Toukkia on tavattu paikoin 8—10 kpl/m². Saalaan (1949, s. 204) mukaan kastanjaturilas on Suomessa levinnyt vain Oulun ja Kajaanin tienoille saakka. On kuitenkin hyvin todennäköistä, että jos sen leviämisalue on maamme itärajan takana edennyt pitkälle pohjoiseen päin, on vastaavanlaista leviämistä tapahtunut tai sellaista on odotettavissa myös Suomen puolella.

Toinen tuhohyönteinen, jonka esiintymistä tutkimusalueella olisi syytä pitää silmällä, on punalatikka (*Aradus cinnamomeus* Panz.). Mm. Norrlannissa se on merkityksellinen tuholainen nuorissa männiköissä (Brammanis 1967).

Ennen tutkimusajankohtaa esiintyneet tuhot

Seuraavaksi luodaan katsaus sellaisiin tuhoihin tai ylipäänsä taimimenetyksiin, joissa tuhoprosessi ei ollut tutkimusajankohtana enää välittömästi havaittavissa. Näitä tuhoja esiintyi ymmärrettävästi sekä sellaisilla uudistusaloilla, joilla havaittiin runsaasti vereksiä tuhoja että sellaisilla, joilla vereksiä tuhoja oli vähän. Tällaisia melko kauan sitten sattuneita tuhoja selvitettäessä jouduttiin turvautumaan osittain vanhoihin tuhonaiheuttajien jättämiin merkkeihin, kuten pihkoittuneisiin ja muutenkin epäselviksi käyneisiin syömäjälkiin (vrt. Nuorteva 1967). Tällaisista merkeistä tehdyt havainnot olivat tietysti verraten ylimalkaisia, sillä monien huomattavimpien taimituhojen ajankohdasta oli kulunut jo useita vuosia, toisinaan yli 10 vuotta. Taimimenetyksiä koskevien päätelmien teossa auttoi jossakin määrin se, että usein saatiin selville verraten tarkoin, millaisissa olosuhteissa taimet olivat kasvaneet ennen tuhoutumistaan ja tuhon tapahtuma-aikana, esim. millainen päällyspuuston tiheys ja puulajirakenne oli ollut, milloin oli suoritettu hakkuita, miten voimakkaita nämä olivat olleet jne. Toisaalta taimien kunto ja toisaalta tuhonaiheuttajien esiintyminen ovat näet suu-



Kuva 20. Kun siemenpuiden poistossa menetellään taitavasti, saadaan verraten kookaskin taimisto tyydyttävästi säilymään. Ala 12 B. Pietarsaaren mlk. Valok. K. E. huhtik. 1965.
Fig. 20. When seed trees are removed skillfully, even a fairly tall seedling stand can be maintained satisfactorily. Sample area 12 B. Pietarsaari rural commune. Photographed by K. E.

ressa määrin riippuvaisia tällaisista seikoista. Muistettakoon vain tukkimiehentäin runsauden kytkeytyminen uudistusalalla ja sen läheisyydessä suoritettuihin hakkuisiin. Monesti taimien kuolemisen pääasiallisena syynä voitiin pitää epäsuotuisia kasvuolosuhteita ja varsinaisten tuhonaiheuttajien osuus oli tällöin sekundaarinen. Sellaisissa tapauksissa ei pidetty tarpeellisena selvittää, mikä sieni tai hyönteinen oli aiheuttanut taimien lopullisen menehtymisen.

Kuoltuaan varsinkin pienet taimet häipyvät tuota pikaa pintakasvillisuuden joukkoon, ja niitä on jälkeenpäin vaikea huomata (vrt. J u u t i n e n 1962, s. 16). Kookkaammat taimet kuitenkin säilyvät havaittavina rankoina tai tynkinä pystyssä joskus vuosikausia. Yleensä lisäksi joitakin taimia pysyy elossa hyvinkin pitkään, tutkimusalueen olosuhteissa jopa 60—70-vuotiaiksi (vrt. V a a r t a j a 1951, s. 8), ja tällaiset tuhoutuneen taimikerran viimeiset kituvat jäänteet muodostivatkin monesti antoisan lähtökohdan lähemmille selvittelyille.

Muuan koko tutkimusalueella luontaisia männyntaimivaroja suuresti vähentävä tekijä on ollut taimiston päälle liian pitkään jääneen puuston vaikutus seurannaisilmiöineen. Kuten uudistumisaikaa koskevasta katsauksesta kävi ilmi, oli tutkimuskohteissa huomattava osa männyn taimista,

alueen pohjoisosissa keskimäärin jopa 80 %, syntynyt jo ennen hakkuuta. Eräillä uudistusaloilla voitiin todeta, että mikäli puusto oli jäänyt pitkäksi aikaa suhteellisen taajaksi hyvän uudistumiskauden jälkeen, oli syntyneistä taimista tutkimusajankohtana jäljellä etupäässä vain sellaisia, jotka kasvoivat metsän aukkopaikoissa tai olivat muuten tavallista edullisemmassa asemassa (vrt. Sarvas 1937, s. 52). Vielä elossa olevien taimien ohella tavattiin runsaasti kuivuneita taimien rankoja ja tynkiä. Tällaisten jäännöstaimien ja taimijätteiden perusteella oli mahdollista rekonstruoida taimiston vallitsevan osan tiheys likimain sellaiseksi kuin se oli ollut joitakin vuosia aikaisemmin. Näiden selvittelyjen nojalla todettiin, että yllättävän monilla tutkimusajankohtana vajaataimistoisilla uudistusaloilla oli esiintynyt 10—15 vuotta aikaisemmin vaihe, jolloin taimistoa olisi ollut uudistamista varten riittävästi. Syynä epäonnistumiseen oli tällöin siis ilmeisesti ollut se, että taimiston säilyttäminen ei ollut onnistunut. Esimerkkeinä sellaisista uudistusaloista, joilla ensi sijassa hakkuun viivästyminen oli tällä tavoin johtanut männyn taimiston jokseenkin täydelliseen pilalle menemiseen, mainittakoon uudistusalat 222 B, 272, 283 ja 362 B. Näistä kaksi edellistä on kuivaa ja kaksi jälkimmäistä kuivahkoa kangasta. Puusto oli kaikissa ollut ennen siemenpuuhakkuuta puhdasta männikköä. Siemenpuuhakkuun tuloksena ei tuhoutuneen taimiston tilalle ollut saatu syntymään edes välttävää uutta taimistoa. Mainittakoon, että nämä olivat aineiston ainoat puhdasta männikköä kasvaneet kuivan tai kuivahkon kankaan alat, joilla uudistaminen oli epäonnistunut.

Taimien elintilaa lisäävän hakkuun viivästymisen ja siitä suoranaisesti johtuvien taimitappioiden ohella on taimimäärää lisäksi vähentänyt taimien vaurioituminen ja tuhoutuminen hakkuussa ja ajossa. Kun puunkorjuutöissä ei ilmeisesti ole noudatettu erityisiä taimia säästäviä menettelytapoja, ovat taimituhot olleet keskimäärin sellaisia kuin asiaa koskevissa aikaisemmissa tutkimuksissa on käynyt ilmi (esim. Sarvas 1944, Vaartaja 1951, Hagner 1962). Myös erilaiset sieni- ja hyönteistuhot ovat ilmeisesti vähentäneet huomattavastikin tällaisten alikasvoksena kituneiden taimien määrää nimenomaan ensimmäisinä hakkuun jälkeisinä vuosina ja sitä enemmän, mitä kituneempia taimet ovat olleet (Sarvas 1944, Vaartaja 1951, Titova 1959, Moroz 1964, Vilikainen ja Kuznetsova 1965). Toisinaan tappiot ovat kuitenkin erityisen suuret, jos taimisto on matalaa vapautushakkuun tapahtuessa, vaikka itse hakkuutöistä aiheutuvat vauriot jäisivätkin tällöin vähäisiksi. Hakkuualalla lisääntyvät hyönteiset (ensi sijassa *Hylobius)* ovat näet tuhoisimpia pienille taimille. Kun lumipeite muodostuu hakkuualalla paksummaksi kuin metsikössä, tulevat olosuhteet myös karisteen esiintymiselle paremmiksi. Tällöin näet sellaiset taimet, joiden latva emopuuston alla on ehtinyt lumipeitteen yläpuolelle, joutuvat hakkuun jälkeen uudelleen kokonaan lumen sisään ja voivat

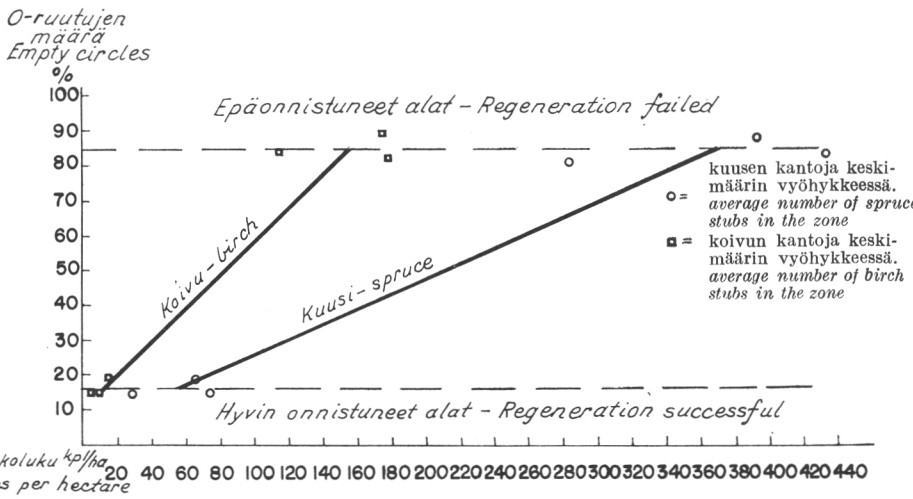
tuhoutua karisteen vaikutuksesta. Niinpä Pjatetski (vrt. Moroz 1964) on todennut, että eteläisen Neuvosto-Karjalan hakkuualoilla on lumikerroksen paksuus 25—30 cm suurempi kuin metsiköissä. Taimien saastumista lisää myös tuulen nopeuden suureneminen hakkuun jälkeen ja tästä aiheutuva saastuneiden neulasten ym. leviäminen sairaista taimista kosketuksiin terveiden kanssa (Björkman 1948, Moroz 1964). Hakkuun järjestelyllä on paljon vaikutusta karistetuhojen määrään. Huonosti hoidetun hakkuun yhteydessä sienisaaste leviää ja hakkuualalle jää paljon kallellaan olevia taimia, jotka peittyvät kokonaan lumeen. Hyvin järjestetyn hakkuun ansiosta saadaan jopa 70 % ennen hakkuuta syntyneistä taimista säilymään elossa (Kolodko, Kotelnikov, Ptušk o 1961).

Eteläisimmissä vyöhykkeissä, varsinkin Pohjanmaalla ja Kainuussa, on nuoria männyn taimistoja osittain menehtynyt tai tullut huonokuntoisemmaksi koivuvesaikon, suurikokoisten alikasvoskuusten ja -mäntyjen vaikutuksesta. Niinpä tutkituista Pohjanmaan ja Kainuun uudistusaloista n. 60 % oli tutkimusajankohtana tai oli ollut ennen hiljattain toimitettua perkausta siinä tilassa, että tällainen haittapuusto vaivasi männyn taimia. Pohjoisimmissa vyöhykkeissä kuusen merkitys haittatekijänä oli vähäinen. Tätä osoittaa jo kuusen esiintyminen uudistusaloilla ennen hakkuuta:

	Kuusta esiintynyt merkitsevästi %:ssa uudistusaloja	Uudistusaloja yhteensä
Pohjanmaa	46	48
Kainuu	59	54
Peräpohjola	53	51
Metsä-Lappi	8	32
Tunturi-Lappi	0	24

On selvää, että sellaisille alueille, joilla kuusta ei ole esiintynyt ennen hakkuuta, sitä ei juuri ole tullut hakkuun jälkeenkään. Asetelman mukaan kuusen merkitys männyn uudistumista haittaavana tekijänä tutkimuskohteissa on siis käytännöllisesti katsoen loppunut siirryttäessä Peräpohjolasta Metsä-Lappiin.

Koivu liian tiheänä esiintyessään on ollut kaikilla alueilla taimiston kehityksen jarruna. Tämän haitan yleisyyttä kuvastaa se, ettei koko aineistossa esiinny ainoatakaan laajahkoa uudistusalaa, jonka jossakin osassa ei olisi ollut männyntaimien kehitystä haittaavaa vesaikkoa. Yleensä nämä kohdat olivat ympäristöä kosteampia. Esimerkkinä koivuvesaikon aiheuttamasta haitasta mainittakoon uudistusala 303 B, jonka tarjoaman aineiston nojalla kysymyksestä tehtiin eräitä selvityksiä. Kysymyksessä on Metsä-Lapissa sijaitseva kuivan kankaan siemenpuuala, jossa oli esiintynyt pintakulo v.



Kuva 21. Uudistusalalta tavattujen koivun ja kuusen kantojen määrä ja taimistossa olevien o-ruutujen määrä kolmelta eteläiseltä vyöhykkeeltä.

Fig. 21. Number of birch and spruce stubs found in regeneration area and number of o-squares in seedling stand. Three southern zones are involved.

1935. Kulon jälkeen sattui pian hyviä männyn uudistumisvuosia, mm. 1937—39. Tällöin syntyi runsaasti männyn taimia, joita oli tutkimusajankohtanakin jäljellä. Mutta samoihin aikoihin nousi alalle runsaasti koivuvesaikkoa, joka elpyi, kun päällysmetsä harveni siemenpuuasentoon (vrt. Sarvas 1937). Tämän vaikutuksesta männyn taimisto vähitellen heikkeni ja harveni tuntuvasti. Tässä tapauksessa olisi ajoissa ja tarkoituksenmukaisesti toimitettu perkaus todennäköisesti antanut tulokseksi tyydyttävän tiheän männyn taimiston. Koivuvesaikon aiheuttamien taimimenetysten takia taimisto arvosteltiin tutkimusajankohtana epätyydyttäväksi.

Siré n (1961 a, s. 36) mainitsee, että yksistään Taka-Lapissa on arviolta yli 400 000 ha männyn kasvatukselle erinomaisesti soveltuvia koivikoita. On mahdollista, että nämä ovat ainakin osaksi syntyneet kuvatulla tavalla. Ainakin monet havainnot viittaavat siihen, että myös tunturikoivu taajana esiintyessään vaikeuttaa huomattavasti männyn taimien kehitystä. Tutkiessaan metsänviljelyn mahdollisuuksia pohjoisella metsänrajalla on Mikola (1959) todennut, että männyn taimiston vapauttaminen tunturikoivusta on monesti välttämätöntä ja sen laiminlyönti johtaa viljelmän tuhoutumiseen. Liian tiheän koivusekapuuston haitallisuuteen männyn taimien kasvulle on kiinnitetty huomiota myös Pohjois-Norjassa (Eide 1932). Harvasta koivusekoituksesta taas on ilmeisesti hyötyä (Kangas 1937, s. 208, Hustich 1948, Siré n 1958). Mikolan (op. c.) mukaan ei metsänrajaseudulla ole syytä poistaa männyn taimistosta kaikkea koivua varsinkaan laajoista

tuulille alttiista viljelmistä, sillä harvan tunturikoivikon tarjoama suoja näyttää olevan hyödyksi männyn taimille arktisessa ilmastossa (vrt. myös Kurkela 1967).

Uudistusaloja, joilla uudistaminen oli tekijän käsityksen mukaan osittain tai kokonaan epäonnistunut ilmeisesti metsänhoidollisen toimenpiteen — ensi sijaisesti taimiston vapauttamisen tai perkauksen — viivästymisen takia, tavattiin eri vyöhykkeissä seuraavasti:

Pohjanmaa	2
Kainuu	3
Peräpohjola	4
Metsä-Lappi	3
Tunturi-Lappi	2
Yhteensä	14

Näiden uudistusalojen osalta voitaisiin sanoa, että uudistamisen alkuvaihe oli onnistunut, mutta tarjolla ollutta taimimateriaalia ei ollut käytetty hyväksi. Kyseessä olevien metsien uudistumiskapasiteetti on siis näillä uudistusaloilla ollut huomattavasti parempi kuin tutkimusajankohtana tavattujen metsittämiskelpoisten taimien perusteella näyttäisi.

Lisäksi aineistossa on useita sellaisia uudistusaloja, joilla oli tutkimusajankohtana tyydyttävä hakkuun jälkeen syntynyt taimisto, mutta joilla todettiin olleen taimisto myös ennen hakkuuta. Tämä esikasvos oli kuitenkin pääosaksi menehtynyt hoitotoimenpiteiden puuttumisen takia. Näiden uudistusalojen osalta taimitappioiden merkitys on ensi sijassa siinä, että uudistamisaika on jonkin verran pidentynyt.

Oman ryhmänsä muodostavat lisäksi sellaiset siemenpuuhakkuun jälkeen taimettumatta jääneet uudistusalat, joilta on raivattu ennen hakkuuta syntynyt taimisto eli esikasvos pois. Esimerkkinä mainittakoon kuivahkon kankaan uudistusala 142. Ellei raivausta olisi toimitettu, olisi uudistusalalle jäänyt välttävä taimisto, joka olisi käsittänyt mäntyä, kuusta ja koivua, männyn osuuden ollessa suunnilleen kolmannes puuluvusta. Viereiselle alalle raivaamatta jäänyt taimiston osa osoitti, että taimet olivat ilmeisesti olleet toipumiskykyisiä, vaikka ne raivausajankohtana olivat näyttäneet heikkokuntoisilta. Edelleen voitiin päätellä, että hakkuusta kuluneiden 11 vuoden aikana alikasvostaimistosta olisi varttunut likimain täysitiheä. Tänä ajanjaksona se olisi voitu raivauksen sijasta toimitetuin perkauksin kehittää mäntyvaltaisemmaksi, joskin harvanlaiseksi. Joka tapauksessa uudistusalalla olisi tutkimusajankohtana ollut tyydyttäväksi kehittynyt nuori puusto, jonka valtapituus olisi ollut 2—3 m. Tämä olisi muodostanut hyvän lähtökohdan metsikön edelleen kehittämiselle, huomattavasti paremman kuin tutkimusajankohtana tavattu miltei aukea uudistusala.

Tällaisia uudistusaloja, joilla raivauksen johdosta täysin tuottamattomaksi mennyt uudistusala olisi toisin menetellen saatu kasvamaan edes välttävää taimistoa, tavattiin eri vyöhykkeissä seuraavasti:

Pohjanmaa	4
Kainuu	7
Peräpohjola	3
Metsä-Lappi	3
Tunturi-Lappi	—
Yhteensä	17

Nämä 17 uudistusalaa kuuluvat siihen ryhmään, jossa siemenpuumenetelmä edellä esitetyissä ryhmittelyissä on katsottu epätarkoituksenmukaiseksi toimenpiteeksi tai sen suoritustapaa on pidetty virheellisenä.

Tässä yhteydessä on ehkä syytä tarkastella kysymystä, mikä on johtanut metsän käsittelijän tekemään päätöksen kasvatuskelpoisen taimiston raivaamiseksi. Kun tiedetään, että varsinkin hyvästä istutustaimistosta on toiveita saada kiertoajan kuluessa hyvinkin kaksi kertaa suurempi tuotto kuin repaleisesta luonnontaimistosta (B r a a t h e 1966), tuntuu vastaus itsestään selvältä: tarkoituksena on ollut toimittaa metsänviljely, mutta se on jäänyt jostakin syystä toteuttamatta. Mutta kun näin on käynyt verraten monessa paikassa eri osissa tutkimusaluetta, voidaan sanoa, että suunnitelmia tehtäessä on oltu liian rohkeita. Toisaalta on aihetta otaksua, että alikasvostaimistojen vapauttamisen tekniikasta ja vapautettujen taimistojen toipumiskyvystä ei olla oltu riittävän hyvin selvillä (vrt. V a a r t a j a 1951). Esimerkkinä siitä, että asiantuntijakin saattaa olla taipuvainen pitämään kehityksensä alkuvaiheessa jurovaa, mutta todellisuudessa varsin lupaavaa taimistoa — tässä tapauksessa tosin kylvämällä perustettua — käyttökelvottomana, mainittakoon muuan M i k o l a n (1959) esittämä tapaus. Kysymyksessä on Utsjoelle 1938 perustettu taimisto, joka arvosteltiin 1946 ja 1947 jokseenkin epäonnistuneeksi, mutta 1958 eli taimiston ollessa 20 vuotta vanha se todettiin hyväksi, aukottomaksi ja kasvuisaksi. Huomattakoon, että henkilö, joka arvioi mainitun taimiston heikkokuntoiseksi 1946, oli hyvin selvillä taimistojen kehitysmahdollisuuksista. Näin ollen on ymmärrettävää, että vähemmän tottuneille arvostelijoille tulee helposti suurempiakin erehdyksiä. Usein ei yksinkertaisesti huomata pienikokoisia vähäneulaisia taimia pintakasvillisuuden joukosta, eikä ainakaan luoteta siihen, että niistä tulisi puita. Alikasvostaimien ollessa kyseessä ei taas osattane ottaa huomioon sitä, että vapauttamisen jälkeen taimissa tapahtuu perinpohjaista uusiin olosuhteisiin mukautumista, jona aikana ne eivät usein kasva sanottavasti pituutta. Niinpä ilmeisesti varsin usein tällainen taimisto on vapauttamisen jälkeisen kituvan ulkonäön perusteella katsottu toipumiskyvyttömäksi ja määrätty raivattavaksi.



Kuva 22. Vahvasti heinittynyt siemenpuuala. Uudistaminen onnistunut osittain. Ala 161 B. Rovaniemen mlk. Valok. K. E. syysk. 1965.

Fig. 22. A seed tree stand heavily overgrown with grass. Regeneration has partially succeeded. Sample area 161 B. Rovaniemi rural commune. Photographed by K.E.

Yleensä pantiin merkille, että sellaisille uudistusaloille, joilta oli raivattu esikasvos, ei syntynyt siemenpuuhakkuun jälkeen läheskään riittävästi uutta taimistoa.

Sellaisia uudistusaloja, joiden taimisto on todettu selvästi epätyydyttäväksi, on tutkimusaineistossa yhteensä 43 (s. 70). Sellaisia uudistusaloja, joilla epäonnistumisen on päätelty johtuneen hoitotoimenpiteen viivästymisestä tai virheellisestä toimenpiteestä, on yhteensä 31. Täten uudistusaloja, joille ei olisi ollut pelkästään hakkuiden ja taimiston hoidon järjestelyillä mahdollista saada luontaisesti edes välttävää taimistoa, on aineistossa vain 12. Näistäkin olisi todennäköisesti osa saatu uudistumaan maanpinnan valmistamisen avulla.

Näin ollen tutkimusalueen männiköiden uudistumiskyky on ollut selvästi suurempi kuin uudistamistuloksen perusteella näyttäisi. Tämä viittaa siihen, että menettelytapoja parantamalla on mahdollisuus saada onnistumissadannes merkitsevästi nousemaan.

TARKASTELUA

Esillä olevassa tutkimuksessa on selvitelty männyn luontaista uudistamista maamme pohjoisosissa. Tutkimusta suunniteltaessa näytti houkuttelevalta rajoittaa se koskemaan pelkästään sellaisia uudistusaloja, joilla on käytetty siemenpuumenetelmää sanan ahtaammassa merkityksessä (ks. s. 7). Näin on menetelty eräissä aikaisemmissa vastaavanlaisissa tutkimuksissa (vrt. Sarvas 1949). Kysymyksen lähempi tarkastelu kuitenkin osoitti, että tämä olisi tuottanut tässä tapauksessa monenlaista hankaluutta. Niinpä riittävän laajan aineiston kerääminen tutkimusalueelta olisi käynyt erittäin työlääksi. Jo tutkimuksen suunnitteluvaiheessa näet salvisi, että alueella on käytetty varsinaista ahtaasti rajoitettua siemenpuumenetelmää kovin vähäisessä määrin. Edelleen olisi tällöin jouduttu suuntaamaan huomio suureksi osaksi itse uudistamismenetelmään, kun taas uudistumistapahtumaan vaikuttavien lukuisten biologisten ilmiöiden tarkastelu olisi vastaavasti jäänyt vähemmälle (vrt. Sarvas 1956, Smith 1962), ja näin ollen tutkimuksen päätavoitteet olisivat saattaneet jäädä saavuttamatta. Esitetyistä syistä johtuen on käsite siemenpuumenetelmä tässä tutkimuksessa tulkittu väljästi.

Tutkimuksessa on kiinnitetty huomiota siemenpuumenetelmän yleisyyteen, soveltamistapoihin ja saavutettuihin tuloksiin. Tarkastelun kohteeksi otettiin ensi sijassa sellaisia uudistusaloja, joilla uudistumiseen tähtäävä hakkuu oli suoritettu ajanjaksona 1945—1954. Tämä aikaväli valittiin mm. siksi, että sen loppuvuosinakin hakatuilla uudistusaloilla oli ollut riittävästi aikaa taimettua tutkimuksen maastotöiden suorittamisajankohtaan mennessä. Vuosi 1945 näytti sopivalta rajalta siksi, että 1940—1944 metsänhoidolliset hakkuut olivat vähäisiä poikkeuksellisten olojen takia, ja ennen 1940 syntyneet uudistusalat olivat ehkä liian vanhoja tämän tutkimuksen tarkoituksia varten. Ennen kaikkea on täsmällisten tietojen saaminen kovin vanhojen uudistusalojen vaiheista hyvin vaikeaa.

Käsiteltäväksi otettuun alueeseen sisältyvät seuraavat Kalelan (1961) esittämät kasvillisuusvyöhykkeet: Pohjanmaa, Perä-Pohjola, Metsä-Lappi ja Tunturi-Lappi. Pohjanmaa on käytännöllisistä syistä jaettu kahtia: Pohjanmaan alankoseutu ja Kainuu.

Tutkimus pohjautuu edustavaan aineistoon, johon on sovellettu vertailevaa tutkimusmenetelmää.

Tutkimuskohteiden etsimisessä käytettiin seuraavaa menettelyä. Ensin merkittiin kartalle joukko kiintopisteitä. Näiden pohjalla etsittiin maastosta ennakolta sovitut vaatimukset täyttäviä uudistusaloja. Täten saatiin aineistoa suhteellisen tasaisesti tutkimusalueen eri osista.

Kustakin tutkimuskohteesta laadittiin yleiskuvaus, jossa kiinnitettiin huomiota mm. paikan korkeuteen merenpinnasta, kivennäismaan ominaisuuksiin, maan todennäköiseen taimettumiskuntoon taimiaineksen syntymävaiheessa, puuston määrään ja puulajikoostumukseen ennen uudistamiseen tähtäävää hakkuuta, puuston siementämisedellytyksiin ja todennäköisiin siemenmääriin.

Taimiaineksen syntymisen edellytyksiä tarkasteltaessa tulee esiin kaksi tärkeää tekijäryhmää, joista toiseen ei voida sanottavasti ihmisen toimenpitein vaikuttaa, toista taas voidaan usein haluttaessa muuttaa. Ensimmäiseen kuuluvat mm. uudistusalan korkeus merenpinnasta, uudistamiskauden säät ja kasvualustan maalaji. Toiseen ryhmään sisältyvät maan pintakerroksen tila (taimettumiskunto) ja siementävä puusto.

Uudistusalojen korkeus merenpinnasta vaihtelee tutkimusaineistossa 20 m:n ja 460 m:n välillä. Korkeimmalla sijaitsevat uudistusalat ovat keskittyneet tutkimusalueen pohjoispuoliskoon. Kun olosuhteet siellä ovat muutenkin metsän uudistumiselle erityisen epäsuotuisat ankaran ilmaston takia, on ymmärrettävää, että korkeus merenpinnasta on ollut nimenomaan siellä erityisen tärkeä uudistamisen edellytyksiin vaikuttava tekijä. Tunturi-Lapin ja Metsä-Lapin yli 300 m:n korkeudella sijaitsevat seudut kuuluvat suojametsäalueisiin, joissa metsän uudistamista samoin kuin sen muutakin käsittelyä on tarkasteltava toisin kuin normaalin käytön piirissä olevien metsien. Niinpä voidaan ajatella, että uudistamisajan pituudella ei siellä ole niin tärkeää merkitystä kuin varsinaisissa talousmetsissä, kunhan uudistettavaa alaa ei päästetä aukeaksi. Myös muille luonnonsuojelunäkökohdille ja maiseman kehittämistoiminnalle voidaan noilla alueilla antaa merkitsevä asema ilman, että puuntuotannossa sanottavasti menetetään.

Nämä seikat huomioon ottaen voidaan uudistusala-aineisto jakaa pääpiirtein kahteen osaan: 1. uudistusaloihin, joissa pääpaino on puuntuotannolla (Pohjanmaa, Kainuu ja suurin osa Peräpohjolaa) ja 2. niihin, joissa muut näkökohdat ovat likimain yhtä tärkeitä tai jopa tärkeämpiä kuin puuntuotanto (pääosa Metsä-Lappia ja Tunturi-Lappi). Koska tässä tutkimuksessa on puuntuotantoa silmällä pitäen tapahtuva uudistaminen katsottu ensi sijaiseksi selvittelykohteeksi, on aineiston keräyksessä kiinnitetty päähuomio Pohjanmaan, Kainuun, Peräpohjolan ja Metsä-Lapin vyöhykkeisiin.

Kasvupaikan viljavuuden mukaan uudistusalat jakaantuvat kuiville, kuivahkoille ja tuoreille kankaille. Eniten uudistusaloja on kuivahkoilta kankailta, toiseksi eniten kuivilta kankailta. Yli puolella uudistusalojen

lukumäärästä tavattiin merkitsevässä määrässä soistuneita osia. Tämän ohella huomattava kivisyys on luonteenomaista monille tutkimuskohteille.

Maan taimettumiskunnon tarkastelu osoitti, että lukuisilla uudistusaloilla on karjankäynti vaikuttanut maanpinnan tilaan. Eteläisissä vyöhykkeissä kysymyksessä ovat olleet etupäässä lehmä ja hevonen, pohjoisemmissa poro. Monin paikoin kiinnitettiin huomiota niihin muutoksiin maanpinnan tilassa, joita varsinkin humuskerroksessa liikkuvat pikkunisäkkäät aiheuttavat.

Ennen uudistamiseen tähtäävää hakkuuta sattuneen pintakulon katsottiin poikkeuksetta ratkaisevasti lisänneen uudistusedellytyksiä tutkimuskohteissa, vaikka aikaa kuloista olisi mennyt vuosikymmeniä. Tekijä on aikaisemmin tullut samaan tulokseen Etelä-Suomen kuivien ja kuivahkojen kangasmaiden osalta (L e h t o 1956). Pohjois-Suomessa jäkälän ja sammalen hidas kasvu parina ensimmäisenä vuonna kulon jälkeen, humuskerroksen ohuus, pienpuuston tuhoutuminen kulossa ja kuivien ja kuivahkojen kankaiden puuston harvuus merkitsevät pitkän aikaa säilyvää maan hyvää taimettumiskuntoa (vrt. M e l e h o v 1949 ja R e p n e v s k i 1963), joka lienee parhaimmillaan 25—35 vuotta kulon jälkeen, mutta joka säilyy varsin hyvänä vuosikymmeniä kauemminkin. Erityisesti vaikuttanee hyvään taimettumiskuntoon se, että humuskerroksen pinnalla oleva raaka, heikosti lahonnut osa ohenee. Tämän vaikutus taimettumiseen lienee erityisen haitallinen, kun sen sijaan humuskerroksen pohjimmainen osa on suotuisampi (A a l t o n e n 1948, s. 255). Karuilla kasvupaikoilla pääosa humuskerroksesta onkin heikosti lahonnutta (S a r v a s 1950, s. 18).

Kulojen suhteen on syytä huomata, että ne ovat vielä muutamia vuosikymmeniä sitten olleet varsin laajoja ja yleisiä etenkin Lapissa (esim. vuosina 1924 ja 1925), mutta nykyisin ne ovat harvinaisia (R ä s ä n e n 1939, s. 140—141). Näin ollen sikäläisillä kangasmailla on tapahtumassa kehitystä, joka tuntuvasti heikentää niiden taimettumiskuntoa. Toisaalta on huomattava, että nykyisin on jo olemassa mahdollisuudet valmistaa maanpinta kannattavasti taimettumisen kannalta niin hyvään tilaan kuin katsotaan tarpeelliseksi.

Edelleen on taimettumiskuntoon vaikuttanut maanpinnan rikkoutuminen metsänkäsittelyn yhteydessä; eräissä tapauksissa maan taimettumiskunto on parantunut sotatoimien vaikutuksesta. Sitä vastoin varsinaista muokkausta ei todettu mainittavasti suoritetun.

Puuston kehitystä ennen uudistumiseen tähtäävää hakkuuta selviteltiin sen verran kuin katsottiin tarpeelliseksi tämän tutkimuksen tavoitteiden kannalta. Silmiinpistävimpänä piirteenä tuli juuri ennen siemenpuuhakkuuta olleen puuston osalta esiin se, että puuston määrä on ollut koko tutkimusalueella muutamia poikkeuksia lukuunottamatta varsin vähäinen. Tähän havaittiin useita syitä. Niinpä useimmat metsiköt olivat aikaisemmin harsinnan luontoisilla hakkuilla käsiteltyjä. Monessa tapauksessa puuston määrä

oli pienentynyt myös siksi, että joitakin vuosia ennen siemenpuuhakkuuta oli suoritettu valmistushakkuu. Edelleen puuston vähäiseen määrään on ollut syynä se, että uudistusalat ovat käsittäneet runsaasti kivisiä ja osittain soistuneita maita, joilla kasvu on pienempi kuin ns. normaaleilla kangasmailla.

Siementämään jätettyjen puiden lukumäärä on ollut vähäinen ja siemenpuut enimmäkseen verraten pienikokoisia. Useimmilla uudistusaloilla siemenpuiden lukumäärä on jäänyt keskimäärin alle 50 kpl/ha ja kuutiomäärä alle 20 m^3/ha. Etsittäessä syitä tähän asiantilaan todettiin, että lukuun ottamatta kuivia kankaita, siemenpuiksi soveliaiden mäntyjen lukumäärä oli ollut jo ennen siemenpuuhakkuuta yleisesti niin vähäinen, ettei yleensä ollut mahdollisuuksia taajempien siemenpuustojen jättämiseen. Kuivahkoilla ja varsinkin tuoreilla kankailla kuusi ja koivu yhdessä käsittivät usein noin puolet siemenpuuhakkuussa kaadetusta puustosta. Siemenpuuhakkuuta edeltäneet hakkuut, lukuunottamatta valmistushakkuita, olivat siten olleet erittäin laajalti männyn luontaisen uudistamisen mahdollisuuksia vähentäviä. Siitä huolimatta siemenpuumenetelmää oli yleisesti käytetty turvautuen sellaiseen menettelyyn kuin jäljellä oleva puusto oli antanut myöten.

Puista varisevan siemensadon mittaukset eivät vielä osoita sitä siemenmäärää, mikä uudistusalalla on sopivan itämisajankohdan tullessa. Siemenmäärä vähenee mm. siemeniä syövien eläinten toimesta. Siementuhot vaihtelevat nähtävästi varsin suuresti vuodesta toiseen ja myös kasvupaikkojen mukaan. Näyttää kuitenkin ilmeiseltä, että missä siemensadot ovat runsaita, ei mainitunlaisilla siementuhoilla ole luontaisessa uudistamisessa ratkaisevaa merkitystä.

Uudistusalojen kasvualustan tarkastelu osoitti, että männyn luontaiseen uudistamiseen tähtääviä hakkuita on toimitettu yllättävän paljon tuoreilla kankailla. Maalaji on moreenia n. 85 %:lla uudistusalojen pinta-alasta ja loput etupäässä hiekkaa ja someroa. Kaikkiin tutkittuihin laajoihin uudistusaloihin sisältyy kosteudeltaan erilaisia osia. Erityisen yleisiä ovat leveydeltään vaihtelevat kankaan ja suon vaihtumisvyöhykkeet ja notkopaikkojen soistumisjuotit- ja laikut.

Yleisen käsityksen mukaan kuloilla on ollut männyn uudistumisessa huomattavan suuri merkitys. Kun tarkastelun kohteeksi otettiin vain pintakulon käymiä uudistusaloja, jäi palaneiden alojen osuus kuitenkin varsin pieneksi, alle 3 % uudistusalojen kokonaisalasta. Jos otetaan huomioon vain kuivat kankaat ja karukkokankaat, on prosenttimäärä tietenkin tuntuvasti korkeampi. Katsaus yleisiin kulotilastoihin osoittaa, että viime vuosikymmeninä keskimäärin vuosittain palaneen alan määrä vuotuisten uudistushakkuiden määrään verrattuna on merkityksettömän vähäinen. Täten tulen vaikutus on yhä pienenemään päin. Tiettävästi on tutkimusalueella toimitettu siemenpuualojen kulotuksia. Mutta jo se seikka, että niitä ei sattunut aineistoon mukaan, osoittaa tämän menettelyn olleen harvinainen sinä ajanjaksona, johon tutkimus kohdistuu.

Tärkeämpi merkitys kuin kuloilla maan taimettumiskunnon kannalta on ollut Pohjanmaan ja Kainuun alueilla varsinaisten kotieläinten ja, pohjoisemmissa vyöhykkeissä porojen laiduntamisella sekä erityisesti tutkimuskauden loppupuolella kesäaikaan toimitetuilla hakkuilla. Useassa tapauksessa todettiin, että varsinkin viljavanlaisilla mailla tavatun, ennakkokäsityksen mukaan yllättävän tiheän taimiston olemassaolo voitiin selittää juuri tällaisista syistä johtuvaksi. Tutkimuskausi sattui varsinaisen karjan metsälaiduntamisen vaikutuksen kannalta edulliseen ajankohtaan: vielä tutkimuskauden alkupuolella oli metsälaiduntaminen kaikkialla yleistä, mutta viimeistään 1950-luvulla siitä on melkein tyystin luovuttu. Näin ollen aineistoon sisältyy useita sellaisia uudistusaloja, joilla laiduntaminen on parantanut maan taimettumiskuntoa, mutta karja ei ole enää ollut vaurioittamassa syntyvää taimistoa. Poronhoitoalueilla on porojen laiduntaminen tietenkin yleensä jatkunut kaiken aikaa.

Kesähakkuiden vaikutus maan taimettumiskuntoon on tutkimuskautena ollut suhteellisen vähäinen, mutta niiden merkitys on jatkuvasti lisääntymässä.

Taimiaineksen syntymiseen on sademäärillä huomattava vaikutus. Tutkimuskauden sääoloista laaditun katsauksen mukaan on kesä-elokuun keskimääräinen humidisuus ollut tällöin alueen eri osissa samaa luokkaa kuin 30-vuotisjaksona 1921—50, jopa yleensä hieman korkeampikin. Keskiarvot ovat pääosassa tutkimusaluetta olleet yli 15, mikä merkitsee esim. Etelä-Suomen oloihin verrattuna varsin suurta kosteusastetta. Kuitenkin on esiintynyt kuiviakin kesiä. Niinpä v. 1950 humidisuusluku oli Sodankylän sääaseman mukaan vain 6.5. Verraten kuivia kesiä on ollut jaksona 1940—1962 neljä, kun taas useimmat kasvukaudet ovat tutkimuskautena olleet varsin sateisia. Saman tapaisia ovat kesät olleet muuallakin tutkimusalueen itä- ja pohjoisosissa. Vaasan ja Oulun sääasemien mukaan kuivuus on vaivannut Pohjanmaan rannikkoseutuja jonkin verran enemmän. Kuivin kasvukausi on ollut Oulussa kesällä 1945, jolloin humidisuusluku oli 5.5 (erikseen heinäkuussa 0.8). On kuitenkin huomattava, että tutkittuja uudistusaloja ei ollut aivan niin lähellä rannikkoa kuin mainitut sääasemat, joten näiden antama kuva on jopa lähinnä rannikkoa sijaitsevien uudistusalojen kannalta hieman liioitellun epäsuotuisa.

Taimien iänmääritykset osoittivat, että erityisen suurta keskittymistä johonkin tai joihinkin harvoihin uudistumisvuosiin ei pääosassa tutkimusaluetta ollut havaittavissa (vrt. S a r v a s 1950, s. 69—70). Sekä boreaalisella että alppiinisella puunrajalla ja sen läheisyydessä olevat uudistusalat muodostavat kuitenkin poikkeuksen. Tältä osin kysymystä on tutkittu seikkaperäisesti aikaisemmin (vrt. S i r é n 1961a).

Taimistojen metsittämisarvoa tutkittiin käyttämällä linjoittaista ympyräarviointia 5 m^2:n suuruisin ympyröin. Taimien lukumäärän ja ryhmittymisen ohella selviteltiin taimiston ikäjakaantuminen, taimiin kohdistuneet huo-

mattavimmat tuhot yms. Metsittämisarvon määrittelyssä sovellettiin aikaisemmissa meikäläisissä tutkimuksissa käytetystä jossakin määrin poikkeavaa asteikkoa. Mm. on tiheyden vaatimuksessa joustettu uudistusalan maantieteellisen sijainnin, kasvupaikan viljavuuden, maan kivisyyden ja taimien koon mukaan. Tällainen joustava asteikko lieneekin välttämätön, kun tutkimusalue on laaja ja vaihteleva ja kun ei koealojen valinnassa suljettu pois kasvupaikan, puuston ym. kannalta normaalista kohtuullisesti poikkeavia tutkimuskohteita. On luonnollista, että käytettyä asteikkoa soveltaen keskimääräinen onnistumissadannes muodostuu suuremmaksi kuin jos ei mainitunlaisia lievennyksiä olisi otettu huomioon.

Uudistusalojen taimistoista kerätyt tiedot osoittavat, että huolimatta monessa suhteessa epäsuotuisista olosuhteista (siementävän puuston pienikokoisuus ja harvalukuisuus, siementuhot, maan huono taimettumiskunto) uudistamistoimenpide on silti johtanut varsin yleisesti ainakin tyydyttävään tulokseen. Eri vyöhykkeiden välillä on jonkin verran eroja. Niinpä Pohjanmaalla vain 6 tapauksessa 48:sta on täysin epäonnistuttu, kun taas Kainuussa tällaisia epäonnistumisia on ollut 18 54:stä. Peräpohjolassa tulos on ollut jokseenkin sama kuin Pohjanmaalla: 7 täydellistä epäonnistumista 51:stä. Metsä-Lapissa on 32 uudistusalasta 8 katsottu heikosti onnistuneeksi, Tunturi-Lapissa vastaavasti 5 24:stä.

Epäonnistuneiden ja välttävästi onnistuneiden uudistusalojen yksityiskohtainen analysointi osoitti, että verraten vähäisellä työllä (esimerkiksi täydennysistutuksilla) olisi ollut mahdollisuus saada taimistosta tyydyttävä, jos toimenpide olisi tehty hyvissä ajoin. Taimiston muutkin hoitotoimenpiteet ovat olleet yleisesti varsin vähäisiä. Useimmiten ne on kokonaan laiminlyöty, ne ovat viivästyneet tai on tehty virheellisesti. Näyttää täten siltä kuin luonnon taimistojen hoitoon olisi kiinnitetty huomiota vielä vähemmän kuin viljelytaimistojen. Mielenkiintoisena piirteenä pantiin merkille, että joissakin tapauksissa uudistusalalla olisi ollut riittävästi taimia, mutta nämä oli raivattu pois siksi, että taimiston sen hetkinen puulajikoostumus ei ollut tyydyttänyt metsän käsittelijää; männyn taimien määrä oli esim. kuivahkoilla kankailla ollut liian pieni ja kuusen ja/tai koivun osuus liian suuri. On lähellä ajatus, että ainakin joissakin tapauksissa olisi ollut edullisempaa jättää raivaus toimittamatta, jolloin olisi hoitotoimenpitein voitu vähitellen kehittää aluksi tosin heikolta näyttävästä taimistosta mäntyvaltainen puusto.

Taimien lukumäärä uudistusalalla, niiden ryhmittyminen ja taimiston puulajikoostumus eivät vielä anna täyttä käsitystä uudistumistapahtuman metsänhoidollisesta onnistuneisuudesta. Erityisesti luontaisen uudistamismenetelmän käyttökelpoisuutta arvosteltaessa on lisäksi tiedettävä, miten kauan on kulunut paljastavasta hakkuusta metsittämisarvoltaan vähintään tyydyttävän taimiston ilmaantumiseen. Tätä aikaa nimitetään uudistamisajaksi.

Laskelmia uudistamisajan pituudesta voidaan oikeastaan tehdä vain sellaisilla hakkuualoilla, joille on jo kehittynyt metsittämisarvoltaan tyydyttäväksi katsottava taimisto. Toisaalta on mahdollista ottaa jokin maksimivuosimäärä, jonka kuluessa mainitunlaisen taimiston pitäisi syntyä, jotta uudistamistoimenpide voitaisiin katsoa onnistuneeksi. Useimmiten on Pohjois-Suomen osalta pidetty kymmentä vuotta tällaisena maksimimääränä; ellei tyydyttäväksi katsottavaa taimistoa ole tämän ajan kuluessa hakkuualalle noussut, on toimenpide katsottu epäonnistuneeksi. Tietyn enimmäisvuosimäärän kiinni lyöminen on tuskin kuitenkaan mahdollista. Niinpä on ilmeistä, että teoreettiset kannattavuuslaskelmat johtavat tutkimusalueen eri osissa varsin erilaisiin vuosimääriin. Vastaavasti tullaan eri tulokseen samallakin seudulla viljavuudeltaan, työvaikeusasteeltaan jne. erilaisilla uudistusaloilla. Uudistamisajan maksimipituuden — ja yleensäkin sen pituuden — määrittämisen tekee vaikeaksi myös se, että ei ole suinkaan selvää, mikä hakkuu kulloinkin on katsottava paljastavaksi. Niinpä käytettäessä suojuspuumenetelmää »liittyvät uudistushakkuut kasvatushakkuisiin jatkonomaisen saumattomasti» (K a l e l a 1961). Edelleen on tapauksia, joissa pitkä taimettumisvaihe tuottaa näennäisesti tappiota, mutta siitä on etuja, jotka ainakin lieventävät sitä menetystä, jonka puuntuotannon väheneminen tai viivästyminen aiheuttaa. Niinpä taimistometsän olemassaolo — varsinkin kun kysymyksessä on usean puulajin muodostama sekataimisto — on toisinaan luonnonsuojelun ja maiseman kehittämisen kannalta hyödyksi. Toisinaan tällainen vaihe on maan viljavuuden kannalta eduksi (esim. kunttaantuneilla mailla). Niinpä lepo on mainittu toimenpiteenä esitettäessä keinoja uudistusalan valmistamiseksi. Jos kuitenkin lähdetään siitä yleisesti hyväksytystä perusteesta, että uudistamistoimenpide voidaan useimmiten katsoa sitä onnistuneemmaksi mitä pikemmin hakkuualalle saadaan tyydyttävänä pidettävä taimisto, on uudistamisaika käyttökelpoinen lisätunnus taimiston tiheyden, tasaisuuden ja puulajikoostumuksen rinnalla.

Taimistojen ikää koskevat selvittelyt osoittivat, että varsin monella uudistusalalla oli ollut jo taimettamishakkuuta suoritettaessa riittävä määrä taimia. Ennen hakkuuta syntyneiden taimien osuus kaikista taimista oli yleensä sitä suurempi mitä pohjoisempi alue oli kysymyksessä. Ennen hakkuuta ja hakkuun jälkeen syntyneiden taimien pituuden vertailu osoitti, että edelliset olivat jokaisella uudistusalalla keskimäärin merkitsevästi pitempiä kuin jälkimmäiset. Taimiyksilöiden kohdalla oli kylläkin poikkeuksia.

Koska aineistossa — tutkimusalueen pohjoisosia lukuunottamatta — ei ole juuri 10 vuotta vanhempia hakkausaloja, voidaan jo sen perusteella todeta, että kaikki tyydyttäväksi arvostellut taimistot ovat muodostuneet tämän ajan kuluessa. Kun äsken selostetusta käy lisäksi ilmi, että varsin usean taimiston osalta uudistumisaikaa ei ole ollut ollenkaan, jos perustana pidetään taimettumishakkuuta. On kuitenkin huomattava, että puusto on

ollut usein jo ennen taimettumishakkuuta varsin harva. Tällaisissa tapauksissa uudistamisajan käsitteen soveltaminen tuottaa vaikeuksia.

Taimistotuhoja koskevat selvitykset osoittivat, että uudistusaloilla oli esiintynyt monenlaisia hyönteisten, sienten ja nisäkkäiden aiheuttamia tuhoja. Vereksiä merkkejä ankarista, taimiston metsittämisarvoa huomattavasti alentavista tuhoista tavattiin n. 7 %:ssa uudistusalojen lukumäärästä, mikä vastaa likimain tuhojen osuutta uudistusalojen pinta-alasta. Lieviä tuhoja, joiden vaikutuksesta taimiston ryhmittymisen epätasaisuus oli jossakin määrin lisääntynyt, esiintyi n. 25 %:ssa uudistusalojen lukumäärästä. Muilla uudistusaloilla havaittiin merkityksettömiä yksittäisiä tuhoja ja joissakin tapauksissa taimisto oli täysin tervettä ja muutenkin vaurioitumatonta. Taimistojen metsittämisarvon kannalta tuhot olivat huomattavimpia pohjoisimmissa vyöhykkeissä siksi, että taimien määrä oli niissä ennestäänkin yleensä kovin vähäinen ja täten verraten pienetkin taimimenetykset tuntuivat ankarina.

Tutkimusajankohtaa huomattavasti varhaisempien taimistotuhojen tarkastelu osoitti, että taimimenetyksien perussyynä oli usein ollut kasvuolojen epäsuotuisuus, ennen kaikkea päällyspuuston, alikasvoskuusien ja lehtipuuvesaikon taholta tuleva kilpailu. Taimiston vapauttamisen jälkeen olivat sieni- ja hyönteistuhot aiheuttaneet huomattavia taimimenetyksiä siksi, että taimet olivat tällöin heikkokuntoisia ja täten tuhonalttiita.

Yhteenvetona edellä esitetyistä tutkimustuloksista voidaan todeta, että mäntyä luontaisesti uudistettaessa ei ole yleisesti onnistuttu käyttämään riittävän tarkoin hyväksi metsien uudistumiskykyä.

TAULUKOT

Taulukko 6. Yleistietoja uudistusaloista
Table 6. Data on regeneration areas

Pohjanmaa

Uudistusalan N:o *No. of area*	Sijainti — *Location*			Korkeus pmy, m *Above sea level, m*	Pinta-ala, ha *Area, ha*	Maalaji *Soil type*	Metsätyyppi *Site type*	Hakattu *Cut*				Siemenpuut *Seed trees*				Taimet % *Seedlings, %*		Lämpösumma *Thermal sum*
	Kunta — *Commune*	pohj.lev. *northern latit.*	it.pit. *eastern longit.*					Mä *pine*	Ku *spruce*	Ko *birch*	v. 19- *in the year 19-*	kpl ha *number per ha*	ikä v. *age, years*	keskipit. m. *mean height*	kaadettu v. 19— *cut in the year 19—*	ennen hakk. synt. *emerged before cutting*	0-ruutuja *empty circles*	
								m³/ha *cu.m. per ha*										
11	Laihia	62°57′30″	21°58′	20	5.3	mor.	EVT	38.1	33.9	—	53	100	105	15	63	100	75	1 110
12	Vähäkyrö	63°03′30″	21°56′	20	1.9	mor.	EVT	1.8	18.4	4.8	53	132	80	14	—	—	87	1 110
13	Laihia	62°55′30″	22°06′	20	1.7	mor.	EVT	1.2	9.8	—	52	132	65	13	—	—	52	1 110
21	Lapua	62°59′40″	23°02′	75	3.4	mor.	EVT	45.6	14.4	—	53	18	105	—	61	25	40	1 071
22	»	62°58′50″	23°04′	75	2.3	mor.	EVT	44.0	11.0	—	53	14	85	—	63	25	47	1 071
23	»	62°57′20″	23°06′	70	3.0	mor.	EVT	33.2	8.8	—	51	37	80	—	63	—	37	1 077
31	Alajärvi	63°01′20″	23°57′	160	1.8	hiekka	ECT	97.9	2.1	—	53	35	105	—	63	38	57	1 090
32	»	63°01′40″	23°58′	160	8.7	somero	EVT	48.5	1.3	13.2	54	16	95	—	63	70	69	1 090
33	»	63°02′20″	24°07′	200	1.5	mor.	EVT	44.5	—	10.5	54	38	95	—	62	80	19	1 039
41	Kannus	63°59′30″	23°59′	50	1.1	mor.	EVT	6.7	30.3	—	50	79	100	16	58	27	47	975
42	»	64°00′40″	23°56′	50	3.5	mor.	EVT	—	58.0	—	48	15	120	—	60	—	90	975
43	»	63°59′40″	23°57′	50	2.3	mor.	EVT	3.7	42.3	—	47	100	100	—	61	4	56	931
51	Nivala	63°58′50″	25°01′	90	2.0	mor.	EVT	124.0	—	—	55	18	110	20	—	54	21	1 022
52	»	64°02′30″	25°11′	90	3.4	mor.	EVT	11.0	—	—	55	100	70	—	61	90	15	1 022
53	»	64°01′40″	25°10′	90	0.7	hieta	ECT	7.2	5.7	2.1	53	25	110	14	—	82	26	1 022
61	Kärsämäki	64°00′10″	25°56′	140	1.5	mor.	EVT	25.2	9.4	1.4	52	55	115	—	61	45	50	987
62	»	64°01′30″	26°02′	130	4.5	hiekka	EVT	25.6	19.4	—	53	40	90	—	61	34	29	998
63	»	64°01′00″	26°06′	120	0.5	mor.	EVT	—	—	—	48	35	90	17	—	35	38	1 020
111	Ylikiiminki	65°01′30″	26°05′	70	1.2	hiek.mor.	EVT	15.0	35.0	—	55	15	135	25	—	17	70	977
112	»	65°01′50″	25°58′	70	6.0	hiekka	EVT	26.0	—	—	48	17	125	—	58	40	2	977
113	»	65°01′40″	25°57′	70	1.2	hies.mor.	VMT	28.6	32.5	3.9	51	5	135	—	63	13	45	977
151	Kemi mlk.	65°56′20″	25°06′	60	4.4	hiek.mor.	VMT	28.5	13.1	15.4	54	19	170	15	—	48	67	902
152	»	65°55′30″	25°03′	50	0.7	mor.	EVT	10.4	22.2	4.4	53	21	110	14	—	66	59	913
153	»	65°55′30″	25°08′	40	7.0	mor.	EVT	32.5	22.4	21.1	54	13	120	18	—	64	86	924
161	Ranua	65°58′40″	25°59′	140	5.1	mor.	VMT	3.5	29.6	24.9	51	12	100	14	61	21	86	894
162	»	65°58′10″	26°05′	130	4.1	hiek.mor.	VMT	4.2	7.7	58.1	45	5	130	—	63	66	61	905
163	»	65°59′10″	26°11′	140	3.0	mor.	EVT	30.5	45.2	37.3	54	13	130	18	—	33	97	894
361	Karunki	66°04′20″	24°08′	40	3.4	hiek.mor.	HMT	26.3	10.0	0.7	52	10	110	16	—	28	60	914
362	»	66°05′10″	24°04′	40	2.7	hiek.mor.	HMT	30.3	3.7	3.0	—	20	120	17	61	100	48	914

363	Karunki	66°05′30″	23°58′	60	3.1	hiek.mor.	EMT	1.4	18.6	—	49	31	120	15	—	57	56	992
39	Pudasjärvi	65°23′20″	26°56′	110	15.7	hiekka	MCClT	28.3	—	—	45	43	130	16	55	10	17	853
40	Haapajärvi	63°39′20″	25°32′	150	3.0	hiekka	ECT	42.3	—	—	49	25	115	17	58	60	1	1 020
11 B	Purmo	63°28′50″	23°09′	50	4.7	hiet.mor.	VMT	5.8	18.2	—	55	6	100	17	—	11	73	1 080
12 »	Pietarsaari mlk. ...	63°33′00″	22°56′	50	3.6	hiek.mor.	VMT	9.1	4.9	—	47	45	90	15	65	47	46	1 080
13 »	Purmo	63°25′40″	23°01′	60	2.2	hiet.mor.	EVT	34.9	6.1	—	52	12	102	18	—	27	59	1 068
21 »	Veteli	63°25′40″	23°56′	110	9.5	mor.	VMT	7.7	22.4	1.9	49	15	110	17	—	—	29	1 113
22 »	»	63°27′30″	23°51′	110	3.6	hiekka	ECT	33.0	—	—	47	35	98	15	61	7	29	1 113
23 »	»	63°28′50″	23°51′	120	2.5	hiekka	ECT	55.0	—	—	54	24	105	16	59	10	8	1 102
31 »	Reisjärvi	63°31′30″	25°05′	140	30.0	mor.	EVT	51.6	—	6.4	53	40	115	19	—	10	79	1 030
32 »	»	63°32′10″	25°03′	140	12.0	hies.mor.	EVT	52.4	0.5	1.1	51	65	120	19	—	11	73	1 030
33 »	»	63°33′50″	24°56′	140	7.7	hies.mor.	GMT	28.6	16.1	7.3	51	75	110	17	63	9	67	1 030
41 »	Vihanti	64°26′30″	25°03′	105	6.4	hiekka	ECT	21.0	—	—	45	15	120	14	58	—	13	1 066
42 »	»	64°27′50″	25°08′	120	1.8	hiet.mor.	EVT	2.5	16.5	—	54	15	120	17	64	9	28	1 049
43 »	Paavola	64°31′30″	25°06′	140	1.3	hiek.mor.	EVT	12.2	3.2	0.6	54	25	80	17	—	41	33	1 027
51 »	Rantsila	64°25′10″	25°57′	90	4.1	hiek.mor.	ECT	27.8	—	4.2	46	15	100	13	—	6	65	952
52 »	»	64°24′40″	25°56′	90	2.3	mor.	ECT	23.0	—	—	53	35	85	15	63	61	8	952
53 »	»	64°24′20″	25°53′	85	3.5	mor.	EVT	15.5	0.5	—	47	20	110	15	62	1	31	968
101 »	Yli-Ii	65°27′50″	25°59′	80	3.7	hiek.mor.	ECT	18.0	0.6	1.4	51	25	110	16	63	19	4	916
102 »	»	65°30′00″	25°59′	90	3.6	mor.	EVT	25.2	4.8	—	48	85	100	18	64	6	7	905
103 »	»	65°34′30″	26°01′	100	5.6	mor.	VMT	12.2	16.2	4.6	53	30	120	18	—	46	30	884

Kainuu

Uudistusalan N:o	Sijainti: Kunta	pohj.lev.	it.pit.	Korkeus mpy, m	Pinta-ala, ha	Maalaji	Metsätyyppi	Hakattu: Mä	Ku	Ko	v. 19-	Siemenpuut: kpl ha	ikä v.	keskipit. m	kaadettu v. 19-	Taimet %: ennen hakk. synt.	0-ruutuja	Lämpösumma
								m³/ha										
71	Vieremä	64°01'10"	26°54'	150	2.4	mor.	EVT	18.5	17.6	7.9	55	7	90	20	—	36	86	1 050
72	.....	64°01'10"	26°55'	150	4.5	mor.	EVT	26.3	45.4	29.3	55	5	90	18	—	20	90	1 050
73	Vuolijoki	64°01'30"	26°55'	180	14.0	hiek.mor.	EVT	20.9	9.7	5.4	53	23	90	18	—	55	80	1 004
81	Sotkamo	64°00'20"	28°03'	210	6.3	mor.	EVT	17.6	45.4	—	47	23	110	—	60	2	44	975
82	»	64°02'30"	27°59'	210	3.7	mor.	EVT	—	29.0	4.0	50	25	100	15	—	4	77	975
83	»	64°03'30"	27°58'	250	8.0	mor.	EVT	17.4	34.2	8.4	51	14	85	14	—	—	95	909
91	Kuhmo	64°00'40"	29°04'	230	30.0	mor.	EVT	46.1	0.5	1.4	54	15	130	18	—	50	79	852
92	.....	64°00'50"	29°04'	230	14.0	mor.	EVT	90.5	19.7	5.8	53	15	130	18	—	—	94	852
93	»	64°00'40"	29°03'	230	3.0	mor.	EVT	47.0	0.5	1.5	54	15	—	—	—	80	—	852
101	Kuhmo	64°01'10"	30°01'	220	2.6	mor.	EVT	16.3	54.8	2.9	53	14	130	16	—	3	42	833
102	»	64°01'40"	30°02'	220	2.5	hiekka	EVT	38.4	24.6	—	45	19	105	16	61	10	10	833
103	»	63°58'30"	30°00'	220	3.0	hiekka	ECT	91.1	0.4	0.5	52	25	105	—	57	32	33	843
121	Utajärvi	65°01'10"	26°57'	110	3.2	mor.	ECT	33.0	—	—	47	12	140	17	—	3	9	843
122	»	65°01'50"	26°55'	110	2.0	mor.	EVT	47.0	—	—	47	21	140	16	57	5	21	843
123	»	64°56'20"	26°55'	110	1.5	hiek.mor.	EVT	35.7	9.7	5.6	53	27	130	15	—	33	42	843
131	Puolanka	65°00'00"	27°57'	300	6.0	hiet.mor.	EVT	4.4	14.2	0.4	55	20	90	14	—	38	74	815
132	»	65°00'40"	27°58'	300	2.3	hiek.mor.	ECT	4.0	18.0	—	52	16	120	14	—	21	46	815
133	»	65°03'20"	28°01'	230	1.2	hiek.mor.	VMT	15.9	7.1	—	52	28	100	18	—	21	67	872
141	Suomussalmi	64°59'50"	29°01'	210	13.0	hiek.mor.	EVT	26.5	16.1	9.4	52	20	110	—	63	16	63	830
142	»	65°00'30"	29°02'	250	11.0	hiek.mor.	EVT	45.1	27.4	1.5	54	35	80	16	—	40	75	780
143	»	65°01'50"	29°00'	230	11.0	mor.	EVT	78.5	19.4	4.1	52	43	110	18	—	18	89	802
171	Ranua	66°00'40"	26°58'	230	29.0	mor.	VMT	26.9	37.9	14.2	52	27	130	16	—	71	93	775
172	»	66°00'10"	26°58'	230	18.4	hiek.mor.	VMT	18.5	51.8	3.7	51	13	130	16	—	23	65	775
173	»	66°01'40"	26°59'	270	3.0	mor.	VMT	24.8	6.2	—	53	10	100	12	—	80	90	731
181	Posio	65°57'00"	28°07'	250	8.3	hiekka	MCClT	63.0	—	—	53	60	150	—	63	25	17	860
182	»	65°57'50"	28°08'	265	2.5	hiek.mor.	EVT	36.0	15.9	1.1	52	27	130	16	—	75	80	860
183	»	65°58'30"	28°11'	285	1.0	hiek.mor.	VMT	11.9	10.1	—	54	27	90	14	—	42	81	828
191	Kuusamo	65°56'30"	28°58'	300	1.5	hiek.mor.	EVT	26.2	30.5	4.3	54	23	180	18	—	50	76	762
192	»	65°56'20"	29°00'	320	1.4	mor.	VMT	24.2	25.4	12.4	54	43	140	14	—	28	93	740
193	»	65°56'10"	29°06'	320	2.6	hies.mor.	GMT	—	43.5	9.5	54	18	110	16	—	—	93	740
371	Kuusamo	65°59'30"	29°54'	270	4.3	hiet.mor.	GMT	13.1	6.2	3.7	53	16	160	16	—	62	63	790
372	»	65°56'20"	29°55'	280	1.5	hiet.mor.	EVT	14.0	21.5	1.5	54	37	170	18	63	42	67	764
373	»	66°00'30"	29°49'	280	6.0	hiet.mor.	EVT	17.8	17.0	2.2	54	42	150	18	—	47	55	764

61 B	Vaala	64°32′30″	26°49′	130	2.7	mor.	EVT	14.5	—	10.5	55	100	110	20	—	26	31	968
62 »	»	64°33′20″	27°05′	140	2.0	mor.	EVT	8.1	1.6	0.3	54	140	90	18	—	27	2	957
63 »	»	64°32′00″	27°06′	130	1.7	hiet.mor.	VMT	9.0	2.2	1.8	55	80	90	16	—	32	47	968
71 »	Ristijärvi	64°31′20″	28°10′	170	4.0	hiet.mor.	EVT	5.1	4.3	0.7	46	10	90	17	—	25	64	937
72 »	»	64°32′10″	28°09′	170	4.0	hies.mor.	VMT	3.2	15.8	1.0	53	20	90	18	—	44	82	937
73 »	»	64°33′50″	28°05′	180	3.4	hiet.mor.	VMT	22.1	9.9	—	54	50	80	20	64	11	53	926
81 »	Hyrynsalmi	64°27′20″	29°06′	190	2.0	hiet.mor.	EVT	10.2	15.8	9.0	53	50	90	18	—	9	53	947
82 »	»	64°31′10″	29°04′	190	4.6	mor.	VMT	10.6	6.8	1.6	52	15	90	17	63	14	19	947
83 »	»	64°31′40″	29°01′	190	3.0	mor.	VMT	22.0	14.8	3.2	46	10	105	17	63	—	13	947
91 »	Kuhmo	64°30′30″	29°57′	200	0.5	mor.	ECT	6.2	2.3	4.5	52	120	100	18	—	22	28	920
92 »	»	64°29′20″	29°54′	210	4.0	hiet.mor.	ECT	23.0	13.0	—	47	60	100	17	64	15	32	920
93 »	»	64°28′40″	29°55′	210	6.4	mor.	ECT	6.6	5.4	—	48	10	110	18	—	13	30	920
111 »	Pudasjärvi	65°29′20″	26°51′	130	5.9	mor.	HMT	12.8	7.1	1.1	55	40	90	15	—	31	25	831
112 »	»	65°30′30″	26°52′	140	3.7	mor.	ECT	30.7	1.0	1.3	49	20	120	15	57	5	24	810
113 »	»	65°32′20″	26°58′	130	2.3	mor.	EVT	28.1	0.9	—	55	30	120	19	65	34	12	821
121 »	Taivalkoski	65°33′20″	28°10′	200	5.7	hiekka	MCCIT	46.8	5.2	—	51	10	90	19	—	15	—	922
122 »	»	65°33′20″	27°59′	170	23.0	hiekka	MCCIT	48.2	4.8	—	51	10	130	17	64	10	—	965
123 »	»	65°35′40″	28°01′	190	20.7	mor.	EVT	44.8	4.5	6.7	49	20	120	—	60	5	21	943
131 »	Taivalkoski	65°33′20″	28°55	240	12.6	hiek.mor.	EVT	28.1	7.8	1.1	53	30	120	18	—	42	43	848
132 »	»	65°27′10″	29°00′	250	30.7	hiet.mor.	EVT	13.7	16.7	3.4	51	5	110	18	—	8	76	830
133 »	»	65°29′00″	28°57′	250	21.0	hiek.mor.	EVT	45.1	0.9	—	53	20	100	19	—	34	59	830

Peräpohjola

Uudistusalan N:o	Sijainti			Korkeus mpy, m	Pinta-ala, ha	Maalaji	Metsätyyppi	Hakattu				Siemenpuut				Taimet %		Lämpösumma
	Kunta	pohj.lev.	it.pit.					Mä	Ku	Ko	v. 19-	kpl ha	ikä v.	keskipit. m	kaadettu v. 19-	ennen hakk. synt.	0-ruutuja	
								m³/ha										
201	Kolari	67°00′40″	24°05′	170	8.6	mor.	MCClT	60.0	—	—	51	17	220	16	—	77	13	732
202	»	67°02′30″	24°02′	220	13.4	hiek.mor.	EMT	68.6	16.7	12.7	48	13	150	15	—	23	52	677
203	»	67°01′50″	24°04′	180	6.8	mor.	EMT	122.0	—	—	53	10	250	20	—	38	11	721
211	Rovaniemi mlk.	66°57′50″	24°55′	160	2.7	hiet.mor.	EMT	60.9	5.2	20.9	54	6	90	20	—	91	78	752
212	»	67°01′10″	25°00′	190	12.1	mor.	MCClT	52.0	—	—	51	15	130	18	—	22	17	709
213	»	66°57′50″	24°54′	160	8.0	hiek.mor.	EMT	154.2	—	9.8	54	8	125	20	—	84	50	752
221	Rovaniemi mlk.	67°01′30″	26°05′	240	7.0	mor.	MCClT	48.0	—	—	46	20	180	16	—	9	7	754
222	»	67°01′50″	26°06′	180	142.1	mor.	MCClT	68.2	2.1	0.7	47	35	190	18	—	27	31	820
223	»	67°00′00″	25°54′	190	6.4	hiek.mor.	MCClT	38.0	—	—	52	12	200	14	—	63	38	820
231	Kemijärvi mlk.	66°59′40″	27°04′	260	2.8	hiet.mor.	EMT	5.8	12.2	6.0	55	5	90	12	—	84	56	698
232	»	66°58′20″	27°06′	230	6.2	hiek.mor.	EMT	19.4	5.7	1.9	41	7	120	15	—	—	64	731
233	»	66°58′10″	27°08′	230	6.2	hiek.mor.	EMT	36.0	—	—	51	27	100	14	—	32	57	731
241	Salla	66°59′10″	28°02′	190	1.4	hiet.mor.	EMT	—	31.9	3.1	55	27	160	15	—	37	76	765
242	»	66°59′20″	28°03′	180	2.2	mor.	EMT	23.1	6.6	3.3	51	38	170	13	—	66	82	776
243	»	66°58′50″	28°09′	200	3.2	hiet.mor.	EMT	—	54.0	11.0	53	19	160	14	—	57	93	754
311	Salla	66°58′10″	29°02′	200	4.4	mor.	EMT	24.0	0.3	0.7	52	10	180	17	56	19	7	626
312	»	66°56′50″	29°02′	260	8.5	mor.	EMT	17.8	0.2	—	52	10	—	20	—	26	15	692
411	Rovaniemi mlk.	66°26′00″	26°42′	165	3.6	hiet.mor.	EMT	9.4	18.8	18.8	54	28	135	18	—	36	64	806

141 B	Ylitornio	66°27′20″	24°09′	90	3.0	mor.	EMT	26.3	—	1.7	53	95	105	17	—	46	17	900
142 »	»	66°26′00″	24°05′	80	3.6	mor.	MCC1T	20.0	—	—	48	140	120	15	61	14	6	900
143 »	Pello	66°31′50″	23°50′	130	1.7	hiek.mor.	EMT	24.4	1.6	—	49	120	105	16	—	22	68	856
151 »	Rovaniemi mlk.	66°32′50″	25°04′	110	8.3	hiet.mor.	EMT	27.8	1.0	3.2	49	52	125	17	64	7	72	880
152 »	»	66°31′40″	25°05′	110	41.6	hiet.mor.	HMT	48.4	15.0	24.6	49	70	115	18	—	10	79	880
152 »	Ylitornio	66°28′20″	24°48′	130	16.0	mor.	HMT	11.8	19.1	0.1	54	100	165	18	—	62	28	855
161 »	Kemijärvi mlk.	66°29′20″	25°57′	80	1.2	hiet.mor.	HMT	33.3	3.0	0.7	53	20	150	16	—	27	55	900
162 »	»	66°24′50″	26°06′	85	2.3	hiet.mor.	EMT	35.7	3.4	2.9	48	90	150	15	—	12	34	890
163 »	»	66°34′20″	25°58′	90	5.2	mor.	EMT	23.0	2.0	—	45	60	140	16	65	8	24	870
171 »	Kemijärvi mlk.	66°26′40″	26°59′	180	31.4	hiek.mor.	EMT	50.9	10.7	5.4	55	12	150	18	65	52	52	846
172 »	»	66°29′20″	27°09′	230	42.6	hiet.mor.	EMT	59.7	42.2	1.1	48	20	180	18	—	29	49	781
173 »	»	66°25′50″	27°14′	190	2.2	hiet.mor.	EMT	8.8	51.7	7.5	48	50	130	15	—	19	52	735
181 »	Kemijärvi mlk.	66°29′40″	27°47′	230	5.2	hiet.mor.	EMT	7.1	32.3	2.6	49	44	140	15	60	33	64	771
182 »	»	66°27′40″	27°47′	220	7.0	mor.	EMT	30.0	3.0	—	48	30	140	17	59	23	27	782
183 »	»	66°26′00″	27°50′	240	8.8	hiet.mor.	MCC1T	50.8	25.4	0.8	51	30	150	17	—	24	71	760
191 »	Salla	66°28′20″	29°01′	270	3.0	hiek.mor.	EMT	2.7	25.8	5.5	55	40	90	14	—	11	72	877
192 »	»	66°32′10″	28°51′	230	1.5	mor.	EMT	25.9	1.0	5.1	53	15	120	17	64	16	13	921
201 »	Kolari	67°33′20″	24°01′	260	1.0	hiekka	MCC1T	51.0	—	—	46	70	130	14	59	43	6	770
202 »	»	67°30′50″	23°49′	240	7.0	hiekka	MCC1T	41.0	—	—	47	33	170	14	60	20	39	792
203 »	»	67°30′30″	23°47′	200	4.2	hiekka	HMT	31.3	2.0	0.7	51	10	90	16	—	11	72	836
211 »	Kittilä	67°29′40″	24°47′	120	5.7	hies.mor.	HMT	4.1	7.4	11.5	51	22	120	15	—	4	31	934
212 »	»	67°29′20″	24°49′	140	5.8	hiet.mor.	EMT	13.4	0.6	—	48	90	125	16	57	4	49	912
213 »	»	67°29′20″	24°58′	150	3.3	hiek.mor.	EMT	2.4	5.4	0.2	44	30	105	17	—	4	52	901
221 »	Sodankylä	67°29′40″	25°59′	240	1.8	mor.	EMT	8.3	17.3	6.4	53	95	105	17	—	38	84	836
222 »	»	67°29′50″	26°02′	240	4.1	hiet.mor.	EMT	18.6	—	0.4	53	85	120	16	65	37	81	836
223 »	»	67°30′40″	26°10′	230	1.0	mor.	MCC1T	12.0	—	—	48	120	100	13	—	7	12	825
231 »	Sodankylä	67°27′20″	26°56′	180	2.0	mor.	HMT	3.6	22.1	0.3	51	40	115	17	—	14	42	780
232 »	»	67°27′30″	27°07′	180	4.5	hiek.mor.	EMT	21.3	2.2	4.5	52	65	105	18	—	44	68	780
233 »	»	67°30′40″	27°04′	180	3.0	hiet.mor.	EMT	40.5	8.6	7.9	54	140	90	17	—	29	55	770
241 »	Savukoski	67°28′30″	28°01′	260	7.4	hiet.mor.	EMT	30.7	21.3	—	55	40	130	17	—	22	63	682
242 »	»	67°26′50″	28°04′	260	5.5	hiek.mor.	EMT	8.6	10.4	—	46	80	120	16	—	—	52	682
243 »	»	67°28′00″	28°13′	270	9.0	hiet.mor.	EMT	88.3	6.3	0.4	53	25	120	18	—	8	62	671
251 »	Savukoski	67°33′00″	28°49′	250	4.6	hiet.mor.	EMT	30.4	—	1.6	47	50	130	17	—	11	39	749
252 »	»	67°30′50″	29°02′	260	4.7	hiet.mor.	EMT	—	—	—	—	150	160	16	—	100	47	738

Metsä-Lappi

Uudistusalan N:o	Sijainti: Kunta	pohj.lev.	it.pit.	Korkeus mpy, m	Pinta-ala, ha	Maalaji	Metsätyyppi	Hakattu: Mä m³/ha	Ku m³/ha	Ko m³/ha	v. 19-	Siemenpuut: kpl ha	ikä v.	keskipit. m	kaadettu v. 19-	Taimet %: ennen hakk. synt.	0-ruutuja	Lämpösumma
251	Kolari	68°02′20″	23°50′	340	40.0	hiet.mor.	MCClT	—	—	—	45	30	200	14	—	—	56	614
252	»	68°00′50″	23°47′	340	10.0	hiek.mor.	MCClT	—	—	—	45	40	170	16	—	—	—	614
261	Kittilä	68°01′40″	25°14′	230	116.0	hies.mor.	EMT	4.3	13.9	14.8	54	15	150	—	62	72	75	673
271	Sodankylä	68°05′00″	26°08′	250	23.0	hiekka	MCClT	—	—	—	25	40	150	12	—	—	10	663
272	»	68°05′40″	25°59′	250	4.0	hies.mor.	EMT	—	—	—	52	25	170	14	—	52	77	663
273	»	68°05′20″	26°09′	250	6.0	hiekka	MCClT	—	—	—	52	—	—	—	—	—	44	663
281	Sodankylä	68°00′10″	26°55′	280	2.5	hiek.mor.	MCClT	71.0	3.0	—	55	12	170	15	—	65	80	640
282	»	67°59′50″	26°53′	250	1.2	hiek.mor.	MCClT	42.0	—	—	52	30	170	14	—	66	65	673
283	»	68°00′30″	26°53′	260	3.0	mor.	MCClT	35.7	2.5	2.8	51	23	160	16	—	100	95	662
291	Sodankylä	67°58′10″	27°59′	250	8.5	mor.	MCClT	52.0	—	—	55	21	200	—	60	66	25	653
292	»	67°58′30″	27°58′	260	57.0	mor.	MCClT	61.0	—	—	46	30	200	—	59	39	10	642
293	»	67°57′40″	27°54′	240	4.0	hies.mor.	EMT	16.7	7.2	7.1	52	30	170	—	60	44	55	664
301	Savukoski	68°00′20″	29°03′	270	1.9	hiekka	MCClT	15.0	—	—	40	30	200	15	—	—	1	651
302	»	67°58′00″	28°58′	220	12.3	hiekka	MCClT	15.0	—	1.0	52	27	—	—	59	66	10	706
303	»	67°57′20″	28°57′	220	17.7	hiet.mor.	HMT	17.7	—	1.3	—	—	—	—	60	—	33	706
341	Inari	69°00′20″	27°01′	200	1.7	hiet.mor.	MCClT	8.9	—	—	45	120	180	14	—	7	40	634
342	»	69°02′20″	27°06′	180	4.7	hiet.mor.	MCClT	7.9	—	—	45	110	180	13	—	6	65	656
343	»	68°58′50″	27°02′	170	6.0	mor.	MCClT	16.0	—	—	47	55	120	15	—	20	26	677
351	Inari	68°58′40″	28°06′	130	7.5	hiet.mor.	HMT	—	—	—	45	60	200	13	—	4	50	689
352	»	68°58′30″	28°07′	150	7.7	mor.	HMT	—	—	—	45	110	180	13	—	—	28	710
353	»	68°58′50″	28°11′	160	6.4	hiet.mor.	EMT	—	—	—	35	130	200	14	—	—	53	710
38	»	68°12′00″	27°06′	200	9.0	hiet.mor.	MCClT	14.5	—	—	55	21	220	14	—	57	49	708
301 B	Inari	68°26′40″	25°57′	240	9.0	mor.	HMT	—	—	—	—	20	170	14	—	100	85	612
302 »	»	68°28′40″	26°02′	260	8.0	mor.	HMT	—	—	—	—	15	200	18	—	100	91	590
303 »	»	68°31′20″	26°09′	260	5.1	hies.mor.	MCClT	—	—	—	—	20	200	17	—	100	53	590
311 »	Inari	68°24′50″	26°57′	280	6.6	hiet.mor.	HMT	11.5	—	0.5	54	50	150	14	—	59	59	578
312 »	»	68°26′50″	27°10′	270	7.8	hiek.mor.	MCClT	13.0	—	—	54	60	130	14	—	8	52	589
313 »	»	68°25′00″	27°08′	270	0.8	hiekka	MCClT	16.0	—	—	54	30	180	13	—	11	55	589
321 »	Inari	68°33′30″	27°53′	190	7.3	mor.	EMT	28.1	—	—	52	70	130	14	—	20	24	677
322 »	»	68°32′20″	27°49′	180	4.7	hiek.mor.	HMT	11.9	—	3.1	55	80	90	16	64	52	69	688
323 »	»	68°31′10″	27°46′	180	6.3	hiet.mor.	EMT	15.8	—	0.2	55	25	100	17	—	32	63	688
361 »	Inari	69°29′10″	28°46′	100	4.3	hiekka	MCClT	—	—	—	—	50	—	—	—	100	51	566
362 »	»	69°29′40″	28°45′	110	6.0	hiek.mor.	MCClT	—	—	—	—	90	130	14	—	—	79	577

Tunturi-Lappi

Uudistusalan N:o	Sijainti			Korkeus mpy, m	Pinta-ala, ha	Maalaji	Metsätyyppi	Hakattu				Siemenpuut				Taimet %		Lämpösumma
	Kunta	pohj.lev.	it.pit.					Mä	Ku	Ko	v. 19-	kpl ha	ikä v.	keskipit. m.	kaadettu v. 19-	ennen hakk. synt.	0-ruutuja	
								m³/ha										
321	Utsjoki	69°55′20″	28°01′	220	0.7	mor.	MCClT	—	—	—	—	27	180	7	—	100	92	310
322	»	69°56′50″	28°01′	200	0.4	mor.	MCClT	—	—	—	—	28	200	10	—	100	96	332
331	Inari	68°57′30″	25°55′	180	4.0	hiek.mor.	MCClT	—	—	—	—	30	145	13	—	100	80	668
332	»	68°57′40″	25°50′	170	4.1	hiekka	MCClT	—	—	—	—	100	200	14	—	100	54	679
333	»	68°59′20″	25°45′	220	10.1	hiek.mor.	MCClT	—	—	—	—	10	90	10	—	100	58	624
261 B	Enontekiö	68°29′20″	22°06′	460	4.7	mor.	Tuko	—	—	—	—	15	130	8	—	100	99	474
262 »	»	68°28′40″	22°08′	376	3.5	hiet.mor.	MCClT	—	—	—	—	20	140	11	—	30	77	566
263 »	»	68°29′20″	22°12′	406	7.3	hiet.mor.	MCClT	—	—	—	—	52	150	11	—	—	68	533
271 »	Enontekiö	68°30′10″	23°15′	365	9.0	hiekka	MCClT	—	—	—	—	40	140	12	—	—	78	618
272 »	»	68°29′40″	23°13′	370	6.3	hiekka	MCClT	—	—	—	—	61	150	12	—	100	65	613
273 »	»	68°25′00″	22°54′	396	9.3	hiekka	MCClT	—	—	—	—	45	95	11	—	100	78	574
281 »	Enontekiö	68°26′40″	24°03′	317	7.3	hiekka	MCClT	4.9	—	—	55	40	120	12	—	23	35	617
282 »	»	68°25′10″	24°05′	307	4.4	hiek.mor.	MCClT	—	—	—	—	50	100	10	—	59	68	628
283 »	»	68°25′30″	23°59′	307	4.0	hiet.mor.	MCClT	—	—	—	—	100	90	10	—	4	46	628
291 »	Enontekiö	68°30′20″	24°43′	367	6.8	mor.	MCClT	—	—	—	—	2	170	11	—	—	88	562
292 »	»	68°25′30″	24°50′	350	6.8	mor.	MCClT	—	—	—	—	3	170	13	—	100	82	582
331 »	Utsjoki	69°29′30″	25°53′	140	9.0	hiek.mor.	MCClT	—	—	—	—	60	95	11	—	100	56	648
332 »	»	69°28′40″	25°53′	200	4.3	hiek.mor.	MCClT	—	—	—	—	30	90	8	—	100	77	582
333 »	»	69°26′40″	25°50′	160	2.7	hiekka	MCClT	—	—	—	—	80	90	11	—	100	78	626
341 »	Utsjoki	69°31′20″	27°13′	190	2.0	hiet.mor.	MCClT	—	—	—	—	10	170	13	—	100	75	443
342 »	»	69°30′40″	27°12″	170	7.2	mor.	MCClT	6.0	—	—	56	50	150	12	—	100	30	465
343 »	»	69°30′40″	27°10′	150	8.3	hiet.mor.	MCClT	—	—	—	—	20	160	12	—	100	76	487
351 »	Inari	69°26′10″	28°08′	230	1.2	hiek.mor.	Tuko	—	—	—	—	1	150	10	—	100	79	429
352 »	»	69°25′20″	28°07′	230	6.2	hiet.mor.	Tuko	—	—	—	—	5	120	10	—	100	100	429

KIRJALLISUUSLUETTELO

Aaltonen, V. T. 1915. Hieman poron metsänhoidollisesta merkityksestä. Metsätal. aikakausk. 32, s. 211—9 ja 301—9.

—»— 1919. Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa I. Referat: Über die natürliche Verjüngung der Heidewälder im Finnischen Lappland I. Metsätiet. koel. julk. 1.

—»— 1936. Kuusi männyn kilpailijana kasvupaikasta. Referat: Die Fichte als Konkurentin der Kiefer um den Standort. Acta forest. fenn. 42.

—»— 1940. Metsämaa. Metsämaatieteen oppi- ja käsikirja. Porvoo — Helsinki.

—»— 1948. Boden und Wald. Berlin—Hamburg.

—»— 1949. Boden — Bodenkunde — Forstliche Bodenkunde. Begriffliches und Terminologisches. Metsätiet. tutkimusl. julk. 36.

Ahti, T., Hämet-Ahti, L., Jalas, J. 1968. Vegetation zones and their sections in northwestern Europa. Annales bot. fenn. 5.

Alho, P. 1968. Pohjois-Pohjanmaan metsien käytön kehitys ja sen vaikutus metsien tilaan. Summary: Utilization of forests in North Ostrobothnia and its effect on their condition. Acta forest. fenn. 89.

Arnborg, T. 1955. Skador på tallplantor inom ett starkt renbetat område i Hede socken. Norrl. skogsvårdsförb. tidskr. s. 363—7.

Baldwin, H. I. 1942. Forest tree seed of the north temperature regions with special reference to North America. Waltham, Mass.

Bergan, J. 1962. Reindeer damage to natural pine regeneration in Pasvik. Tidsskr. Skogsbr. 70, s. 175—93.

Björkman, E. 1945. Studier över ljusets betydelse för föryngringens höjdtillväxt på norrländska tallheder. Summary: On the influence of light of the height-growth of pine plants on pine-heaths in Norrland. Medd. Stat. skogsforskningsinst. 34.

—»— 1948. Studier över snöskyttesvampens (Phacidium infestans Karst.) biologi samt metoder för snöskyttets bekämpande. Summary: Studies on the biology of the Phacidium-blight and its prevention. Medd. Stats. skogsforskningsinst. 37.

Blomqvist, A. G. 1881. Finlands träslag i forstligt hänseende beskrifna. I. Tallen. Finska forstför. medd. s. 1—196.

Blomqvist, T. J. 1905. Tavastmon. Finska forstför. medd. 22, s. 135—51.

Braathe, P. 1966. Metsien uudistaminen Norjassa. Suomennos esitelmästä »Skoglige foryngelseproblemer i Norge». Metsätal. aikakausl. 83, s. 23—7, 36.

Brammanis, L. 1956. Neue Brutstätten des grossen braunen Rüsselkäfers, Hylobius abietis. L. Forstw. Centralblatt 75, s. 105—8.

—»— 1967. Tallbackstinkflyet. En »ny» skogsskadegörare presenteras. Skogen 54, s. 573—4.

Cajander, A. K. 1909. Ueber Waldtypen. Acta forest. fenn. 1.

—»— 1910. Metsiemme uudistushakkaukset toisiinsa verrattuina. Helsinki.

—»— 1916. Metsänhoidon perusteet. I. Kasvibiologian ja kasvimaantieteen pääpiirteet. Porvoo.

Cajander, A. K. 1917 a. Metsänhoidon perusteet. II. Suomen dendrologian pääpiirteet. Porvoo.
—»— 1917 b. Katsaus Suomen metsätyyppeihin. Metsätal. aikakausk. 36, s. 303—14.
Cajanus, W. 1914. Ueber die Entwicklung gleichaltriger Waldestände. Eine statistische Studie. I. Acta forest. fenn. 3.
Dekatov, N. E. 1952. Ohjeet havupuiden uudistamisesta keskitettyjen hakkuiden jälkeen metsävyöhykkeellä. Suomennos julk. NL:n Metsätalouden ministeriö, Metsätalouden tiet. tutk. keskusinstituutti. Petroskoi.
Eide, E. 1932. Furuens vekst og foryngelse i Finnmark. Summary: The growth and regeneration of the pine forests in Finnmark. Medd. Norske skogforsøksvesen 3.
Eklundh Ehrenberg, C. 1963. Genetic variation in progeny tests of Scots pine (Pinus silvestris L). Studia forest. Suecica. 10.
Eneroth, Q. 1931. Om skogstyper och föryngringsförhållanden inom Lappmarken. Norrl. skogsvårdsförb. tidskr. s. 113—82.
—»— 1934. On skogstyper och föryngringsförhållanden i Lappmarken. Norrl. skogsvårdsförb. tidskr. s. 49—83.
Enroth, G. Hj. 1915. Lohkohakkauksesta Suomen sotilasvirkataloilla. Suomen metsänhoitoyhd. julk. Erikoistutkimuksia 4.
Franssila, M. 1960. On the measurement of soil temperature in forest and swamps. Ilmatiet. Keskusl. toim. 52.
Gaiser, R. N. 1952. Root channels and roots in forest soils. Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. 16.
Ghent, A. W. 1963. Studies on regeneration in forest stands devastated by the Spruce budworm. III. Problems of sampling precision and seedling distribution. Forest science 9, s. 295—310.
Gregory, R. A. 1956. The effect of clear-cutting and soil disturbance on temperatures near the soil surface in southeast Alaska. Alaska Forest Research Center Juneau.
Greig-Smith, P. 1964. Reviews. Quantitative plant ecology. 2nd edition. Butterworth.
Haack, (—). 1912. Die Prüfung des Kiefernsamens. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 44.
Hagem, O. 1917. Furuens og granens frøsaetning i Norge. Medd. Vestl. Forstl. Forsøksstat. 2.
Hagner, S. 1962. Naturlig föryngring under skärm. Summary: Natural regneration under shelterwood stands. Medd. Stat. skogsforskningsinst. 52.
—»— 1965. Om fröproduktion, fröträdsval och plantuppslag i försök med naturlig föryngring. Studia forest. suecica 27.
Hansen, V. 1954. Notes on some species of Hylastes Er. and Trypophloeus Fairm. (Coleoptera Scolytidae). Ent. medd. 27.
Hautala, K. 1956. Suomen tervakauppa 1856—1913, sen viimeinen kukoistus ja häviö sekä niihin vaikuttaneet syyt. Taloushistoriallinen tutkimus. Historiallisia tutk. 45.
Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. Referat: Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands. Acta forest. fenn. 4.
—»— 1922. Pohjois-Suomen kuusimetsien hoito. Referat: Über die Bewirtschaftung der Fichtenwälder Nordfinnlands. Metsätiet. koel. julk. 5.
—»— 1937. Metsäpuiden siementämiskyvystä II. Referat: Über die Besamungsfähigkeit der Waldbäume II. Metsätiet. tutkimusl. julk. 24.
—»— 1939. Kokemuksia paksusammaltyypin metsien käsittelystä. Helsinki.

Heikinheimo, O. 1944. Metsien luontainen uudistaminen. Keskusmetsäseura Tapion käsikirj. n:o 22, 2. p. Helsinki.

—»— 1948 a. Peräpohjolan ja Lapin metsätaloudesta, Silva fenn. 64, s. 48—59.

—»— 1948 b. Metsäpuiden siementämiskyvystä III. Summary: On the seeding capacity of forest trees III. Metsätiet. tutkimusl. julk. 35.

Heikurainen, L. 1954. Rämemänniköiden uudistamisesta paljaaksihakkausta käyttäen. Referat: Über natürliche Verjüngung von Reisemoor-Kiefernbeständen unter Anwendung von Kahlschlag. Acta forest. fenn. 61.

Helander, B. 1949. Suomen metsätalouden historia. Helsinki.

Hengst, E. 1966. Zur Frage der Mischbestandsuntersuchung. Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus der Fakultät für Forstwirtschaft Tharandt der Technischen Universität Dresden, (F)-Riehe, n:o 37, s. 377—83. Dresden.

Hesselman, H. 1927. Studier över barrträdsplantans utveckling i råhumus I. Betydelsen av kvävemobiliseringen i råhustäcket för tall- och granplantans första utveckling. Referat: Studien über die Entwicklung der Nadelbaumpflanze in Rohhumus I. Die Bedeutung der Stickstoffmobilisierung in der Rohhumusdecke für die erste Entwicklung der Kiefern- und Fichtenpflanze. Medd. Stat. skogsförsöksanst. 23.

Hustich, I. 1948. The Scots pine in nothernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades. Acta Bot. fenn. 42—44.

Huuri, O. 1965. Taimivälin vaikutus metsänviljelyn kustannuksiin ja tuloksiin I—IV. Metsälehti 23—26.

Ilvessalo, L., Laitakari, E. 1949. Metsikön uudistus. Suuri metsäkirja I osa. Porvoo—Helsinki.

Ilvessalo, Y. 1920 a. Tutkimuksia metsätyyppien taksatoorisesta merkityksestä nojautuen etupäässä kotimaiseen kasvutaulujen laatimistyöhön. Referat: Untersuchungen über die taxatorische Bedeutung der Waldtypen hauptsächlich auf den Arbeiten für die Aufstellung der neuen Ertragstafeln Finnlands fussend. Acta forest. fenn. 15.

—»— 1920 b. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. Acta forest. fenn. 15.

—»— 1937. Peräpohjolan luonnon normaalien metsiköiden kasvu ja kehitys. Summary: Growth of natural normal stands in central North-Suomi (Finland). Metsätiet. tutkimusl. julk. 24.

—»— 1942. Suomen metsävarat ja metsien tila. II valtakunnan metsien arviointi. Referat: Die Waldvorräte und der Zustand der Wälder Finnlands. II Reichswaldabschätzung. Summary: The forest resources and the condition of the forests of Finland. The second national forest survey. Metsätiet. tutkimusl. julk. 30.

—»— 1960. Suomen metsät kartakkeiden valossa. Summary: The forests of Finland in the light of maps. Referat: Die Wälder Finnlands im Licht von Karten. Metsäntutkimusl. julk. 52.

—»— 1968. Metsämaiden luokitus. Metsäkalenteri. Vammala.

Juutinen, P. 1955. Zur Biologie und forstlichen Bedeutung der Fichtenböcke in Finnlands. Acta entomol. fenn. 2.

—»— 1958. Ehdotus Lapin suojametsien käsittelyohjeeksi. Moniste Helsingin yliopiston metsäkirjastossa.

—»— 1962. Tutkimuksia metsätuhojen esiintymisestä männyn ja kuusen viljelytaimistoissa Etelä-Suomessa. Referat: Untersuchungen über das Auftretenvon Waldschäden in den Kiefern- und Fichtenkulturen Südfinnlands. Metsäntutkimusl. julk. 54.

Kalela, E. 1949. Männiköiden ja kuusikoiden juurisuhteista I. Summary: On the horizontal roots in pine and spruce stand. Acta forest. fenn. 57.
—»— 1956. Metsänhoitomme alueittaisuudesta. Metsälehti n:o 3—19.
—»— 1961. Metsät ja metsien hoito. Metsänhoidon alkeita. 2. p. Porvoo.
Kangas, E. 1931. Siikakankaan mäntytaimistojen tuhoista. Referat: Über die Schädigungen der Kiefernpflanzenbestände in Siikakangas. Silva fenn. 17.
Kangas, E. 1937. Tutkimuksia mäntytaimistotuhoista ja niiden merkityksestä. Referat: Untersuchungen über die in Kieferpflanzbeständen auftretenden Schäden und ihre Bedeutung. Metsäntutkimusl. julk. 24.
—»— 1940. Tuloksia Pohjankankaan ja Hämeenkankaan metsänviljelyksistä. Referat: Ergebnisse der Waldkulturen aus den Heiden Pohjankangas und Hämeenkangas. Acta forest. fenn. 49.
—»— 1949. Hirven metsässä aikaansaamat tuhot ja niiden metsätaloudellinen merkitys. Summary: On the damage to the forests caused by the moose and its significance in the economy of the forest. Suomen riista 4, s. 62—90.
Keränen, J., Korhonen, V. V. 1949. Suomen ilmaston piirteet. Suuri metsäkirja I. Porvoo—Helsinki.
Kolkki, O. 1966. Taulukoita ja karttoja Suomen lämpöoloista kaudelta 1931—1960. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan, nide 65, osa 1 a—1965. Suomen Ilmatiet. Keskusl.
Kujala, V. 1927. Untersuchungen über den Bau und die Keimfähigkeit von Kiefern- und Fichtensamen in Finnland. Selostus: Tutkimuksia männyn ja kuusensiemenien rakenteesta ja itävyydestä Suomessa. Metsäntutkimusl. julk. 12.
—»— 1935. Hanki männyn taimen tuhoojana. Metsätal. aikakausk. 52, s. 123.
—»— 1950. Über die Kleinpilze der Koniferen in Finnland. Ascomycetes, Fungi Imperfecti, Uredinales. Seloste: Havupuiden pikkusienistä Suomessa. Metsätiet. tutkimusl. julk. 38.
Kungl. Skogsstyrelsen. 1964. Kungl. Skogsstyrelsens revirerade anvisningar rörande tillämplingen av skogsvårdslagen. Svenska Skogsvårdsföreningen. Stockholm.
—»— 1966. Återväxttaxeringen 1960—1965. Sv. skogsvårdsförb. tidskr. s. 211—328.
Kurkela, T. 1967. Keväällä havaitusta männyn taimitarhataudista ja Scleroderris lagerbergiista. Metsätal. aikakausl. 84, s. 391—2.
Kuuseala, K. 1964. Valtakunnan metsien iventoinnin kenttäohje. Moniste.
Laitakari, E. 1927. Männyn juuristo. Summary: The root system of pine (Pinus silvestris). A morphological investigation. Acta forest. fenn. 33.
—»— 1934. Tuulen huomioon ottaminen metsänhoidossa. Suomen metsänhoitoyhd. vuosik. Uusi sarja 4.
Ladefoged, K. 1939. Untersuchungen über die Periodizität im Ausbruch und Längenwachstum der Wurzeln bei einigen unserer gewöhnlichsten Waldbaume. Dansk. resume. Kopenhagen.
Lakari, O. J. 1920 a. Tutkimuksia kuusen ja männyn kasvusuhteista Pohjois-Suomen paksusammaltyypillä. Referat: Untersuchungen über die Zuwachsverhältnisse der Fichte und Kiefer auf dem Dickmoostypus in Nord-Finnland. Metsätiet. koel. julk. 2.
—»— 1920 b. Tutkimuksia Pohjois-Suomen metsätyypeistä. Referat: Untersuchungen über die Waldtypen in Nordfinnland. Acta forest. fenn. 14.
Lehmusluoto, P. 1956. Kulot, kulontorjunta ja metsäpalovakuutus. Metsäkäsikirja 1. Helsinki.

Lehto, J. 1948. Tutkimus mäntysiemenpuiden kehityksestä. Konekirjoite Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksessa.

—»— 1956. Tutkimuksia männyn luontaisesta uudistumisesta Etelä-Suomen kangasmailla. Summary: Studies on the natural reproduction of Scots pine on the upland soils of Southern Finland. Acta forest. fenn. 66.

—»— 1957. Männyn siemennyksestä. Summary: On the seeding of Scots pine. Metsätietoa n:o 1.

—»— 1964. Ajatuksia mäntymetsien uudistamisesta »Teho-ohjelman» puitteissa. Summary: Some aspects of regenerating pine (Pinus silvestris) stands. Metsätal. aikakausl. 81, s. 149—51, 158.

Lekander, B. 1965. On Hylastes ater Payk and Hylastes brunneus Er. (Col. Scolytidae). Entomol. tidskr. s. 184—95.

Lönnroth, E. 1925. Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände, basiert auf Material aus der Südhälfte Finnlands. Acta forest. fenn. 30.

Metsähallitus. 1965. Valtion metsien taimistoista 55 % tyydyttävästi onnistuneita. Metsälehti 1, s. 8.

Mikola, P. 1942. Koivun vesomisesta ja sen metsänhoidollisesta merkityksestä. Referat: Über die Ausschlagbildung bei der Birke und ihre forstliche Bedeutung. Acta forest. fenn. 50.

—»— 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. Metsätiet. tutkimusl. julk. 38.

—»— 1952. Havumetsien viimeaikaisesta kehityksestä metsänrajaseudulla. Summary: On the recent development of coniferous forests in the timber-line region of northern Finland. Metsätiet. tutkimusl. julk. 40.

—»— 1954. Kokeellisia tutkimuksia metsäkarikkeiden hajaantumisnopeudesta. Summary: Experiments on the rate of decomposition of forest litter. Metsäntutkimusl. julk. 43.

—»— 1956. Studies on the decomposition of forest litter by Basidiomycetes. Seloste: Tutkimuksia metsäkarikkeiden hajaantumisesta kantasienien vaikutuksesta. Metsäntutkimusl. julk. 48.

—»— 1958. Lapin suojametsäkysymyksestä. Moniste Helsingin yliopiston metsäkirjastossa.

—»— 1959. Metsänviljelyn mahdollisuuksista pohjoisella metsänrajalla. Summary: Afforestation trials at the polar timber line. Metsätal. aikakausl. 76, s. 374—9, 389.

—»— 1963. Luontaisen uudistamisen ja metsänviljelyn suhde tulevaisuuden metsänhoidossa Lapissa. Lapin tutkimusseura. Vuosikirja IV.

—»— 1966a. Alikasvosten merkitys metsien uudistamisessa. Summary: Significance of the undergrowth in reforestation. Metsätal. aikakausl. 83, s. 4—7.

—»— 1966b. Metsien moninaiskäyttö. Summary: Multiple use of forest. Metsätal. aikakausl. 83, s. 286—8. 307.

—»— 1967. The effect of mycorrhizal inoculation on the growth and root respiration of Scots pine seedlings. XIV. IUFRO-Kongress, München 1967. Referate V. Section 24. s. 100—11.

Mikola, P., Hahl, J., Torniainen, E. 1966. Vertical distribution of mycorrhizae in pine forests with spruce undergrowth. Ann. bot. fenn. 3, s. 406—9.

Morosow, G. F. 1928. Die Lehre vom Walde. Aus dem Russischen übersetzt. Neudamm.

Mork, E. 1933. Temperaturen som foryngelsesfaktor i de nordtrønderske granskoger. Referat: Über die Bedeutung der Temperatur für die Verjüngung in den Fichtenwäldern von Nord-Tröndelag. Medd. Norske skogforsøksvesen 5.

—»— 1957. Om frøkvalitet og frøproduksjon hos furu i Hirkjølen. Summary: Seed guality and seed production for Scots pine at Hirkjølen. Medd. Norske skogforsøksvesen 8.

Multamäki, S. E. 1916. Metsälaiduntamisesta ja hakamaiden hoidosta. Suomen metsänhoitoyhd. julk. Erikoistutkimuksia, 7.

Nordström, L. 1967. Naturlig föryngring. Sv. skogsvårdsförb. tidskr. 65, s. 743—52.

Nuorteva, M. 1967. Hakkuutähteissä elävien hyönteisten käyttömahdollisuuksista hakkuuajankohdan määrittämisessä. Referat: Über die Anwendbarkeit der in Hiebsresten lebenden Insekten bei der Nachträglichen Bestimmung des Hiebszeitpunktes. Silva fenn. 1(121).

Nyyssönen, A. 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. Acta forest. fenn. 60.

—»— 1955. Hakkuumäärän arvioiminen kannoista. Summary: Estimation of the cut from stumps. Metsätiet. tutkimusl. julk. 45.

Oinonen, E. A. 1956. Männiköiden luontaisen uudistumisen edellytyksestä Lapin kangasmailla eräiden taimivaroja selvittävien inventointien valossa. Metsätal. aikakausl. 73, 225—230.

Oinonen, E. A., Sarvas, R., ym. 1958. Ehdotus Lapin suojametsien käsittelyohjeeksi Moniste Helsingin yliopiston metsäkirjastossa.

Palmgren, P. 1949. Metsiemme eläimistöä. Suuri metsäkirja I, s. 100—16. Porvoo—Helsinki.

Platt, Robert B. ja Griffiths, John F. 1964. Environmental measurement and interpretation. New York.

Pöntynen, V. 1929. Tutkimuksia kuusen esiintymisestä alikasvoksina Raja-Karjalan valtionmailla. Referat: Untersuchungen über das vorkommen der Fichte (Picea excelsa) als Unterwuchs in den finnischen Staatswälder von Grenz-Karelien. Acta forest. fenn. 35.

Renvall, A. 1912. Die periodischen Erscheinungen der Reproduktion der Kiefer an der polaren Waldgrenze. Acta forest. fenn. 1.

—»— 1919. Metsien suojeleminen kuloilta. Acta forest. fenn. 11.

Riihinen, P. 1966. Pohjois-Suomen metsien uudistamisen taloudellisia ongelmia. Metsätal. aikakausl. 83, s. 348—350.

Rohmeder, E., Schönbach, H. 1959. Genetik und Züchtung der Waldbäume. Hamburg—Berlin.

Rubner, K. 1960. Die pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaues. Radebeul und Berlin.

Ruden, T. 1949. Trekk fra Nord-Norges skoger. Det Norske Skogselskap 1898—1948. II, s. 224—43.

Räsänen, A. A. 1939. Metsien uudistamisesta Perä-Pohjolassa. Silva fenn. 52.

Saalas, U. 1949. Suomen metsähyönteiset sekä muut metsälle vahingolliset ja hyödylliset eläimet. Suomen tiedettä 5. Julk. Suomalainen tiedeakatemia. Porvoo—Helsinki.

Saari, E. 1923. Kuloista, etupäässä Suomen valtionmetsiä silmällä pitäen. Tilastollinen tutkimus. Summary: Forest fires in Finland with special reference to state forests. Statistical investigation. Acta forest. fenn. 26.

Sainio, P. 1956a. Hirven talvisesta ravinnosta. Referat: Om älgens vinternäring. Summary: On the feeding of the elk in winter. Silva fenn. 88.

—»— 1956b. Hirven talvisesta ravinnosta. Suomen Riista, s. 129—35.

—»— 1956c. Hirvemme. Helsinki.

Sarvas, R. 1937. Kuloalojen luontaisesta metsittymisestä. Pohjois-Suomen kuivilla kankailla suoritettu metsäbiologinen tutkielma. Referat: Über die naturliche Bewaldung der Waldbrandflächen. Eine waldbiologische Untersuchung auf dem trockenen Heideböden Nord-Finnlands. Acta forest. fenn. 46.

—»— 1944. Tukkipuun harsintojen vaikutus Etelä-Suomen yksityismetsiin. Referat: Einwirkung der Sägestammplenterungen auf die Privatwälder Südfinnlands. Metsätiet. tutkimusl. julk. 33.

—»— 1948. Tutkimuksia koivun uudistumisesta Etelä-Suomessa. Summary: A research on the regeneration of birch in South Finland. Metsätiet. tutkimusl. julk. 35.

—»— 1949. Siemenpuuhakkuu männikön uudistushakkuuna Etelä-Suomessa. Summary: Seed-tree cutting as a regeneration method in Scots pine forests of southern Finland. Metsätiet. tutkimusl. julk. 37.

—»— 1950. Tutkimuksia Perä-Pohjolan harsimalla hakattujen yksityismetsien luontaisesta uudistumisesta. Summary: Investigations into the natural regeneration of selectively cut private forests in northern Finland. Metsätiet. tutkimusl. julk. 38.

—»— 1956. Investigations into the dispersal of birch pollen with a particular view to the isolation of seed source plantations. Seloste: Tutkimuksia koivun siitepölyn leviämisestä erityisesti siemenviljelysten eristämistä silmälläpitäen. Metsäntutkimusl. julk. 46.

—»— 1962. Investigations on the flowering and seed crop of Pinus silvestris. Seloste: Tutkimuksia männyn kukkimisesta ja siemensadosta. Metsäntutkimusl. julk. 53.

—»— 1964. Havupuut. Porvoo—Helsinki.

Sirén, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in Northern Finland and its ecology. Seloste: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta forest. fenn. 62.

—»— 1958. Lapin suojametsäkysymyksestä. Moniste Helsingin yliopiston metsäkirjastossa.

—»— 1961 a. Skogsgränstallen som indikator för klimatfluktuationerna i norra Fennoskandien under historisk tid. Summary: Metsäntutkimusl. julk. 54.

—»— 1961 b. Taka-Lapin metsien historiasta ja ilmastosta historiallisena aikana. Synopsis: On the history and climate of forest in Northern Lappland during the historical time. Lapin Tutkimusseuran vuosik. II.

—»— 1965. Lapin metsänhoidon suuntaviivat. Summary: Trends of forestry in Lapland. Lapin tutkimusseuran vuosikirja VI.

Sjöström, H. 1937. Iakttagelser och undersökningar över snöskyttets (Phacidium infestans) uppträdande på tallen i höjdlägen i Norrland och Dalarna. Referat: Schädigungen des Kiefernnachwuchses durch Schneeschütte. Sv. skogsvårdsförb. tidskr. 35, s. 205—49.

—»— 1946. Om tallens föryngring och snöskyttet. Norrl. skogsvårdsförb. tidskr. s. 421—50.

Smith, L. F. 1962. Growth of Longleaf Pine seedlings under Large Pines and Oaks in Mississippi. Occ. Pap. Sth. For. Exp. Sta. No 189, pp. 4, 1 ref.

Strand, L. 1954. Mål for fordelning av individer over et område. Summary: A measure of the distribution of individuals over a certain area. Medd. Norske skogforsøksvesen 12.

—»— 1957. Virkningen av flatestørrelsen på nøyaktigheten ved prøveflatetakster. Summary: The effect of the plot size on the accuracy of forest surveys. Medd. Norske skogforsøksvesen 48.

Suomen kartasto. 1960. Helsinki.

Suomus, H. 1965. Hirven metsälle aiheuttamat vahingot. Kasvinsuojeluseur. julk. 31, s. 40—3.

Tertti (Hertz), M. 1932. Tutkimuksia aluskasvillisuuden merkityksestä kuusen uudistumiselle Etelä-Suomen kangasmailla. Referat: Über die Bedeutung der Untervegetation für die Verjüngung der Fichte auf den südfinnischen Heideböden. Metsätiet. tutkimusl. julk. 17.

—»— 1934. Tutkimuksia kasvualustan merkityksestä männyn uudistumiselle Etelä-Suomen kangasmailla. Referat: Über die Bedeutung der Unterlage für die Verjüngung der Kiefer auf den südfinnischen Heideböden. Metsätiet. tutkimusl. julk. 20.

Tirén, L. 1937. Skogshistoriska studier i trakten av Degerfors i Västerbotten. Summary: Forestry historical studies in the Degerfors district of the province of Västerbotten. Medd. Stat. skogsforskningsinst. 30.

Trägårdh, I. 1939. Sveriges skogsinsekter. Stockholm.

Vaartaja, O. 1950. On factors affecting the initial development of pine. Oikos 2.

—»— 1951. Alikasvosasemasta vapautettujen männyn taimistojen toipumisesta ja merkityksestä metsänhoidossa. Summary: On the recovery of released pine advanced growth and its silvicultural importance. Acta forest. fenn. 59.

—»— 1954. Factors causing mortality of tree seeds and succulent seedlings. Seloste: Puiden siemeniä ja sirkkataimia tuhoavista tekijöistä. Acta forest. fenn. 62.

Wegge, P. 1967. Smågnagerskadene i skogbruket. Norsk skogbruk 5.

Viro, P. J. 1947. Metsämaan raekokoomus ja viljavuus varsinkin maan kivisyyttä silmälläpitäen. Summary: The mechanical composition and fertility of forest soil taking into consideration especially the stoniness of the soil. Metsätiet. tutkimusl. julk. 35.

—»— 1958. Suomen metsämaiden kivisyydestä. Summary: Stoniness of forest soil in Finland. Metsäntutkimusl. julk. 49.

Wretlind, J. E. 1931. Bidrag till belysande av de norrländska tallhedsproblemen. Norrl. skogsvårdsförb. tidskr. s. 263—314.

—»— 1934. Bidrag till belysande av föryngringsbetingelserna på övre Norrlands tallhedsmarker. Norrl. skogsvårdsförb. tidskr. s. 262—342.

Yli-Vakkuri, P. 1953. Tutkimuksia puiden välisistä elimellisistä juuriyhteyksistä männiköissä. Referat: Untersuchungen über organische Wurzelverbindungen zwischen Bäumen in Kiefernbeständen. Acta forest. fenn. 60.

—»— 1956. Männyn kylvötaimistojen hirvivahingoista Pohjanmaalla. Referat: Om älgens skadegörelse på sådda tallplantbestånd i Österbotten. Summary: Moose damage in seedling stands of pine in Ostrobothnia. Silva fenn. 88.

—»— 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.

—»— 1968. Taimiston perustamistiheys. Summary: Spacing in forest plantations. Metsätal. aikakausl. 85. s. 55—56.

Andrejev, V. N. — Андреев, В. Н. 1954. Продвижение древезной растительности в тундру в связы с защитными свойствами лесопосадок на севере. Бот. журн.т.39,1.

Aleksejev, S. V., Moltšanov, A. A. — Алексеев. С. В., Молчанов, А. А. 1938. Сплошные рубки на севере. Вологда.

Aznjev, D. A. — Азниев, Д. А. 1960. Плодоножение сосны обыкновенной в перестойных насаждениях Беловежской пущи. Лесной журнал. 6.

Dekatov, N. E. — Декатов, Н. Е. 1961. Мероприятия по возобновлению леса при механизированных лесозаготовках. Москва.

—»— 1965. Интенсификация лесного хозяйства и повышение производительности лесов. Лесной журнал. 6.

Dinesman, L. G. — Динесман, Л. Г. 1957. Материалы к лесохозяйственному значению лося в Европейской части СССР. Бюллетень М.О-ва Исп. Природы, Отд. Биол. 4.

Govoruhin, V. S. — Говорухин, В. С. 1947. Динамика ланлшафтов и климатичкские колебания на Крайнем Севере. Изв. Всесоюзного Геогр. Об-ва.т.79,3.

Klimov, V. E. — Климов, В. Е. 1962. Естественное облесение вырубок сосняков брусничных и вересковых на севере Новгородской области. Научные Труды Лесотехнической академии. 99.

Kolodko, M. A. Kotelnikov, A. V., Ptuško, N. G. — Колодко, М. А., Котельников, А. В., Птушко, Н. Г. 1961. Работа в организованной лесосеке. Петрозаводск.

Kozlovski, A. A. — Козловский, А. А. 1960. Лось и лес. Охрана леса от повреждений лосями. Изд. ВНИИЛМ. Москва.

Kozlovski, V. B. — Козловский, В. Б. 1960. Влияние березы на продуктивность еловых назаждений. Лесное хозяйство. 2.

Kossinskaja, I. S. — Коссинская, И. С. 1967. Эколого-географические особенности годичного цикла развития фацидиоза (снежного шютте) сосны. Сб. Болезны назаждений Сибири. Изд. Наука.

Kuzmin, I. A. — Кузьмин, И. А. 1961. Хранение сосновых шишек на лесосеках и использование их для посева. Труды Карельского Филиала АН СССР. XXV.

L'vov, P. N. — Львов, П. Н. (ред.). 1964. Практические пособие таежному лесоводу. Москва.

Megalinski, P. N. — Мегалинский, П. Н. 1963. О классификация площадей по успешности естественного возобновления. Лесной журнал. 2.

Melehov, I. S. — Мелехов, И. С. 1949. Значение типов леса и лесорастительных условии в изучении строения древесины и ее фисико-механических свойств. Труды Института Леса АН СССР. т.4.

—»— 1959. Основы типологий вырубок. Сб. »Основы типологий вырубок и ее значение в лесном хозяйстве». Архангельск.

—»— 1960. Рубки и возобновление леса на севере.

—»— 1966. Рубки главного пользования. Москва.

Moroz, V. K. — Мороз, В. К. 1964. Фазидиоз сосны в Карелии. Сб. »Возобновление леса на вырубках и выращивание сеяцев в питомниках». Петрозаводск.

Nesterov, V. G. — Нестеров, В. Г. 1949. Общее лесоводство. Москва.

Novikov, G. A. — Новиков, Г. А. 1948. Роль млекопитающих и птиц в жизни еловых лесов Лапландии. Вот. журн. 33.1.

Novoselov, S. D., Štšeklein, N. A. — Новоселов, С. Д., Щеклеин, Н. А. 1. 1966. Эффективные способы восстановление сосновых лесов таежной зоны. Лесное хозяйство. 12.

Pintšuk, A. M. — Пинчук, А. М. 1964. Шкала дифференцированной оценки естественного возобновления. Лесное хозяйство. 3.

Pjavtšenko, N. I. — Пьявченко, Н. И. 1957. Условия произрастания древесной растительности на ее северном пределе. Труды института леса, АН СССР. XXXV.

Popova, N. N. — Попова, Н. Н. 1962. Влияние роющей деятельности мелких млекопитающих на распределение влаги в почве под широколиственным лесом. Бюллетень М.О-ва Ист. Природы, Отд. Биол. 5.

Pravdin, L. F. — Правдин, Л. Ф. 1964. Сосна обыкновенная. Москва.

Rahtejenko, I. N. — Рахтеенко, И. Н. 1960. Сезонный цикл роста активных корней древесных пород. Лесное хозяйство.9.

Repnevski, V. V. — Репневский, В. В. 1961a. Лишайниковые вырубки. Леса Кольского полуострова и их возобновление. Москва.

—»— 1961b. Обсеменение вырубок в сосняках Мурманской области. Лесное хозяйство.9.

—»— 1961c. Естественное возобновление сосны в различных типах вырубок Кольского полуострова. Леса Кольского полусотрова и их возобновление. Москва.

—»— 1963. Естественное возобновление в сосняках Мурманской области. Лесное хозяйство.9.

Šimanjuk, A. P. — Шиманюк, А. П. 1954. Естественное возобновление на концентированных вырубках. Сб. »Возобновление леса при концентрированных рубках на севере». Архангельск.

Šiperovitš, V. J., Jakovlev, B. P. Volkova, I. P. — Шиперович, В. Я., Яковлев, Б. П., Волкова, И. П. 1959. Большой сосновый долгоносик (Hylobius abietis L) и его влияние на возобновление хвойный пород на местах концентрированных рубок в Карелии. Труды Карельского Филиала АН СССР, XV. Петрозаводск.

Sotšava, V. B. — Сочава, В. Б. 1940. О безлесии тундр. Труды Ленингр. Об-ва естествоист. XVШ.3.

Štšedrova, V. I. — Щедрова, В. И. 1959. Повреждение елового подроста при лесозаготовках и раневая гниль. Труды Карельского филиала АН СССР. XV. Петрозаводск.

—»— 1962, О болезнях сосновых культур и самосева в Карелии. Сб. »Вопрозы лесоведения и лесной энтомологии в Карелии». Москва- Ленинград.

Sokolova, L. N. — Соколова, Л. Н. 1964. Состаяние и фотосинтез соснового подроста под пологом спелых сосняков. Лесное хозяйство. 8.

Sukatšev, V. N. — Сукачев, В. Н. 1964. Основы лесной биогеоценологии. Москва.

Sysojev, E. P. — Сысоев, Е. П. 1966. Применение физиологически активных веществ при лесовосстановлении, Киров.

Tihomirov, V. A. — Тихомиров, В. А. 1953. Безлесие тундры и его преодоление. Бот. журн. 4.

Timofejev, V. P. — Тимофеев, В. П. 1959. Структур урожаев семян в сосновых насаждениях. Лесной журнал. 3.

Titova, E. V. — Титова, Э. В. 1959. Короеды хвойного подроста на лесных вырубках Карелии. Труды Карельского Филиала АН СССР, XV. Петрозаводск.

—»— 1961. Биология и лесохозяйственное значение короедов-корнесилов рода Hylastes в Карелии. Труды Карельского Филиала АН СССР, XXV. Петрозаводск.

Treskin, P. P., Polevoi, V. V. — Трескин, П. П., Полевой, В. В. 1960. Лоси в Куйбышевской области. Зоол. журн. 2.

Vilikainen, M. I., Kuznetsova, A. M. — Виликайнен, М. И., Кузнецова, А. М. 1965. Устойчивость храненного при лесозаготовках подроста на вырубках в Карелии. Лесовыращивание и лесовозобновление 2. Москва.

STUDIES CONDUCTED IN NORTHERN FINLAND ON THE REGENERATION OF SCOTS PINE BY MEANS OF THE SEED TREE AND SHELTERWOOD METHODS

SUMMARY

Introduction

In Finland, the term Seed Tree Method is, as a rule, used for a means of natural regeneration of stands, particularly Scots pine stands. According to this method, the areas to be regenerated are seeded by trees left standing rather far apart or, sometimes, in groups. In principle, it is part of the method to make sure that the soil is in a proper condition for the establishment of reproduction. After the regeneration cutting has been carried out, the time required for a satisfactory seedling stand to develop should not exceed 5 to 10 years. The most suitable number of seed trees to be left standing varies from 10 to 100 trees per hectare in accordance with different instructions. However, according to earlier practice, the number of trees left standing was often larger. At present, if the number of seed trees is fairly large, i.e. more than 50 trees per hectare, the term Shelter Tree Method is more commonly used. However, in the present study it proved impossible to distinguish between these two methods and, therefore, the concept Seed Tree Method was interpreted rather loosely.

The aim of this study has been to determine, on the basis of the data obtained from the sample stands, how successful the application of the seed tree method has proved in the regeneration of pine in northern Finland. With this goal in mind, investigations have been carried out to determine the extent to which this method has been used and what kind of growing sites and forests are involved and, further, in what manner the method has been put into practice and what kind of results have been obtained.

Method of Investigation

The investigation was carried out by analyzing such pine regeneration areas where the seed tree method or some other very similar means of forest regeneration had been employed. In order to locate suitable regeneration areas, the following procedure was adopted. On a general map of Finland (scale 1 : 400 000), a net work was drawn connecting the intersection points of full degrees of latitude and longitude. In the terrain, close to each fixed point, a search was made to locate, if possible, three regeneration areas satisfying given requirements. In this way, a representative sample of the regeneration areas in the research area was obtained and, furthermore, the data accumulated gave a general idea of the extent to which the seed tree method has been used in the various parts of the research area. It should be noted that the closer to the fixed points the regeneration areas were situated, the more common has been the employment of the seed tree method in the area involved.

A map was drawn of each regeneration area; in most cases, the scale employed was 1 : 5 000. The boundary line of the regeneration area was marked on the map, to enable the area to be measured in due course, and to show the shape of the area. Furthermore, general information on the terrain of the regeneration area appeared on the map which also provided notes on the adjoining firm forest lands and swamps, particularly their growing stock. The actual investigations were carried out on sample areas varying in size between 3 and 10 acres.

The soil examination of the research area was conducted visually. The sites were classified according to Cajander's system of forest types. As to possible forest fires, the time of their occurrence was determined on the basis of fire scars and official records. The age of the forest was estimated from the annual rings in the stubs or from increment cores extracted from the bases of dominant trees by boring. Seedling counts were taken from circular sample plots 5 sq. m in size staked out at an even distance from one another. The number of sample plots varied according to need in each instance.

Research Area

The location of the research area is shown in Fig. 0. Since the various parts of this area differ considerably from one another in many respects, the area has been divided into 5 zones for the purpose of this study. The zoning is approximately the same as that presented by K a l e l a (1961), except that Pohjanmaa has been divided into two parts, viz. the coastal region and the hilly region. In terms of the average productivity of forest land, the research area is, except for a few of its most southern parts, one of the poorest in Finland. In most parts of the area, the production is 1.6 —3.0 m^3/ha per annum, whereas in the more propitious parts of the country, the annual production is 5 m^3/ha or more. The poor growth of the trees in the research area is, no doubt, largely due to the low temperature prevailing in the area during the growing season.

Research Material

The actual regeneration areas number 209. Their total area is about 1 625 ha. As shown in Table 00, the regeneration areas in the different zones are distributed on private as well as state-owned land. It can be seen that in the southernmost zones, the majority of the regeneration areas under investigation are situated on privately owned land while in the northern zones, the situation is the reverse. Distribution of the regeneration areas into different orders of magnitude is shown in Table 00, according to which small regeneration areas have been common in Pohjanmaa and Kainuu, whereas in the more northerly zones they have been clearly less frequent. The main reason for this is that in the southern zones, the privately owned and supervised forests constitute a larger portion of the total area than in the northern zones, and the management of privately owned forests has generally been more varied than that of state-owned forests. It should also be noted that the privately owned forests are, on an average, considerably smaller in Pohjanmaa than in Kainuu, and are especially so, if compared with areas farther north. In all the zones, the most common size of the regeneration area is 3—10 ha. Large regeneration areas exceeding 10 ha are common especially in Kainuu and the far north. Most of the regeneration areas are oblong in shape, a circumstance that enables a better seeding from the marginal stands than would be the case, if the shape were closer to a circle.

The altitude of the regeneration areas in the different zones is shown in Table 00. The areas are arranged in groups according to altitude. In the Pohjanmaa zone, the altitude of the majority of the regeneration areas is below 100 m. In all the other zones, the regeneration areas lie at a higher altitude, the highest being in the Arctic mountain region (Tunturi-Lappi). According to information on hand, the 250—300 m altitude is significant for the regeneration of Scots pine, because regeneration encounters considerably more difficulties above this altitude than below it.

Weather Conditions During the Regeneration Period

It is understandable that no detailed weather reports concerning the study period are available. It is, however, possible to draw some general conclusions on the basis of the reports issued by the Meteorological Headquarters, etc. Fig. 00 indicates that around the city of Rovaniemi and in areas to the south of it, the mean temperature of most growing seasons in the period 1940—1960 has been sufficiently high for an abundant seed crop to develop. Farther north, the situation is less favourable. It seems, according to the Utsjoki weather station, that in the Arctic mountain region, the summers in this period were not warm enough for the seed to mature, even partially. Consequently, in the regeneration areas of this zone, it is likely that the temperature was often too low for Scots pine even to flower. Also, as regards germination and the development of seedlings in the northern parts of the research area, the low temperature of the growing season has been a factor retarding regeneration. But, on the other hand, precipitation has not been a minimum factor to the same degree as, for instance, in southern Finland. In some years, however, there have been some very dry periods in Lapland, too. It should be noted that in northern Finland, precipitation is definitely less than in southern Finland, but less evaporation farther north and a greater concentration of precipitation in the summer months evens out the difference brought about by the small total amount of precipitation.

Site Types

In the study material, each of the three site types common in the research area, viz. *Calluna*-type site, *Vaccinium*-type site, and *Myrtillus*-type site is represented by a fairly large number of regeneration areas. The number of *Myrtillus*-type sites is surprisingly large, for one would not have expected that attempts to reproduce Scots pine by natural regeneration would have been made in such fertile areas. The fact that the *Myrtillus*-type sites in northern Finland seem more barren than the corresponding sites farther south may to some extent account for this situation. *Calluna*-type, *Vaccinium*-type, and *Myrtillus*-type sites form about 90 % of the forests growing in the mineral soil of the northern half of Finland. Under the circumstances, only a minor portion of the firm forest land has been excluded from the investigations, and this portion obviously consists of areas (firm forest land with grove-like vegetation) hardly suitable for the regeneration of Scots pine by the seed tree method.

The regeneration areas comprise, on the one hand, sandy and silty moraines and silts and, on the other hand, sandy and gravelly soil and coarse moraines. Moraines and silts form, according to the study material, almost 85 % of the whole study area. The soil of the regeneration areas is generally quite stony. About 30 % of the areas under investigation are classified as particularly stony. Approximately, more than one half of the regeneration areas showed partial swamp formation.

All over the research area, the soil was found to be scarified by domestic animals, reindeer and various burrowing animals, and it appeared that the condition of the soil for the establishment of seedlings had improved as a result of this. In earlier studies, forest fires have been found to improve the condition of firm forest land, but in the research material now accumulated, their effect seems fairly slight. Timber cutting and hauling, removal of stubs, and even the local military operations during the II World War appear occasionally to have improved the condition of the soil.

Development of the Growing Stock

In most cases, information concerning the felled stands had to be obtained from the stubs. It can be stated as a general observation that the stands had almost exclusively developed on areas ravaged by forest fires, and this observation is in agreement with the views presented previously regarding the original development of the Scots pine dominated forests in northern Finland. Table 00 indicates that the cubic volume of the trees felled in the regeneration areas is fairly small, varying between 35 and 54 m^3/ha in the southern and between 15 and 31 m^3/ha in the northern parts of the research area. Corresponding studies dealing with southern Finland have revealed that the cubic volume of the trees felled there is considerably larger. The main reason for this difference is, no doubt, the fact that in the studies covering southern Finland, the study material has been chosen from forests thinned from below prior to the regeneration cutting in order to save the dominant trees. Forests of this kind are more frequent in the southern than in the northern parts of the country. The small cubic volume of the growing stock in the study areas is in many cases also due to the fact that from stands originally mixed with a large number of birches, some of the birches have gradually disappeared either from natural causes or because they have been removed by man. Another thing to be considered is that in northern Finland the study areas are, on an average, considerably stonier than in southern Finland, and this, of course, affects the cubic volume of the growing stock.

The greatest part of the felled timber consisted of cord wood. The number of trees felled generally varied between 200 and 400/ha; in some cases, the number exceeded even 1 000/ha. These amounts do not, however, include the number of very small sized trees also removed in the process of clearing the regeneration areas. The majority of these trees were spruces and birches, especially, birch saplings. As regards the proportions of different tree species in a specification based on cubic volume, the small sized trees are not given nearly as much emphasis as their silvicultural significance would warrant. And yet, from the regeneration stand point, their effect may be greater than that of saw timber. Thus, regeneration cutting is a measure that has greatly affected the condition of the forests regardless of the small cubic volume of the trees involved. In many cases, from the forest ecology stand point, it has certainly been of even greater importance than the seed tree cutting executed in a stand repeatedly thinned, even if the cubic volume removed in the latter case were larger. Moreover, the undergrowth removed from the regeneration areas is worthy of notice, because in some cases, its removal was considered a faulty measure, for it would have furnished material for a new generation.

The regional review presented in this paper regarding the development of the growing stock in the regeneration areas prior to the regeneration cutting implies that,

with a few exceptions, the regeneration cuttings were not carried out in tended forests and cannot, therefore, be considered proper seed tree cuttings but rather something between preparation cuttings in selection forests and seed tree cuttings. Nevertheless, the object of these cuttings has been the regeneration of Scots pine by a method resembling the seed tree method as closely as the circumstances have permitted.

Seed Tree Stands

The following points were clarified in respect of the seed tree stands: number of trees per hectare, age, height, and the length and the degree of luxuriance of the crown.

At the time of the investigation, there were seed trees left in more than half of the regeneration areas involved. The original number of seed trees could be determined in respect of each regeneration area. In about 75 % of the regeneration areas, the number of seed trees had been less than 50 per ha. Only in a very few cases had more than 75 seed trees per ha been left standing. Generally speaking, it seems that all trees that at least to some degree qualified as seed trees, had been left. All indications suggest that in many cases, a greater number of seed trees would have been left, if there had been enough trees suitable for the purpose. This is especially true of regeneration areas where less than 20 seed trees per hectare had been left.

The age of the seed trees was determined from the annual rings in the stubs or from increment cores extracted by boring from the bases of standing trees. To the number of annual rings at the height of 1.3 m was added the customary estimated number of annual rings in order to arrive at the approximate true age of the trees. The youngest seed trees were found in Pohjanmaa where their ages averaged 105 years. In Kainuu, the average age was 110 years, in the far north (Peräpohjola), considerably higher, viz. 140 years, and in Lapland, 170 years. For the Arctic mountain region, an average could not be obtained. Since the average age of the seed trees in the research areas, except for some regeneration areas with exceptionally old growing stock, was around 100—150 years, during which age the seeding capacity of Scots pine is known to be very good, the age of the seed trees as such has generally been no barrier to natural regeneration.

In the southern parts of the research area, the average height of the seed trees is 14—18 m, and in the northern parts, around 11 m. When the average height of the seed trees in the areas under investigation were compared with the dominant height of a normal stand, it was established that the seed trees were generally a few meters shorter. This was due to several factors: In many cases, at some time in the past, the forests in the areas investigated have undergone selection cuttings. Also, storms had felled some of the highest seed trees. It should further be noted that soil that is stony or suffers from excess of water is more frequent in the areas under investigation than in the sample areas used for the study of normal stands, and that in such unfavourable habitats the trees do not grow so high as in »normal» habitats.

In the southern zones, the length of the crowns of seed trees is approximately 50—55 % of the total height of the trees and in the northern zones, approximately 65—75 % of the total height. Generally, the longer the crown of Scots pine, the better its chances of producing a heavy seed crop. Thus, the difference in height between the trees in the northern and the southern zones is likely to be somewhat offset by the greater relative length of the crown of Scots pine in the northern zones.

The amounts of the seed crops could not, of course, be measured. However, by assessing the measurements for the seed trees, the previous data on the seeding capacity of various kinds of stands, the weather conditions prevailing in the decades preceding the time of this investigation, and the general seed years, it was possible to get an idea of the probable extent to which the regeneration areas had become seeded.

Earlier investigations (S a r v a s 1962) indicate that the more fertile the growing site, the more abundant, as a rule, is the seed crop of Scots pine. In the regeneration areas now investigated, the small number of trees and their poor condition in respect of the seeding capacity are responsible for the fact that the fertile regeneration areas, with few exceptions, had not become better seeded than the barren ones. For an estimation of the seed crops in Pohjanmaa and Kainuu, data on the seed crops in southern Finland are useful. They indicate that in the seed tree areas of the *Vaccinium*-type, the average seed crop is about 20 seeds/sq. m and in the areas of the *Myrtillus*-type, about 50 seeds/sq. m (unsorted seed). Because in Pohjanmaa and Kainuu the growing stock is weaker and the weather conditions less favourable, the seed crops are smaller, but the few estimates made in connection with this investigation, on the basis of cones that had fallen to the ground, suggest that the difference is of little significance as regards the total seed crop. However, the germinative capacity is naturally poorer the farther north and higher up the area involved is located.

As regards the far north, information is provided by the investigation conducted by S a r v a s (1950) on selection cutting areas. According to this information, the annual seed crop of Scots pine stands growing on *Calluna*-type sites averages 14 germinative seeds/sq. m, and that of Scots pine stands growing on *Vaccinium*-type sites averages 10 germinative seeds/sq. m. The fact that the seed crop of Scots pine stands growing on more fertile sites is smaller is apparently due to greater weakness in the growing stock. In Forest Lapland (Metsä-Lappi) and especially in the Arctic mountain region, the seed crops are essentially smaller and seed years are rare. This is easily understood when the mean temperatures of the growing season presented in Fig. 00 are examined. Therefore, in these locations, particularly in the regeneration areas situated at high altitudes, the paucity of the seed crop might be a factor restricting the application of natural regeneration. In these northern locations, however, the annual mean of the seed crops has not the same significance as it has farther south. In the timber line areas, during warm climatic periods, the seed crops occur in a kind of series and the average seed crop of such a series may even be fairly abundant. Between these seed year series, there may be periods of years with partial or complete seed failure lasting for decades.

Seedling Stands in the Regeneration Areas

Generally, trees shorter than 1.3 m were regarded as seedlings. In addition, trees higher than 1.3 m that could be expected to form in the future a common canopy with the shorter trees were considered seedlings. This definition does not deviate significantly from the one proposed by the Forest Union of the Northern Countries, according to which a stand where the average height of the dominant and codominant trees is below 1.3 is regarded as a seedling stand. In the estimation of the reforestation value of a seedling stand, the number of seedlings shorter than 0.1 m as well as the number of taller defective seedlings was reduced by one half. Seedling counts were taken from circular sample plots 5 sq. m in area. 100 sample plots were staked out in each regeneration area. In supervising the field activities it became evident that

when taking an inventory of seedling resources of this magnitude the size and number of sample-squares or -circles are not of foremost importance. The most important thing is that those participating in the operation are fit for the tasks involved and that they are not overworked.

As to the seedlings' time of origin, investigations revealed that a considerable portion of the seedlings had originated before the regeneration cutting had been executed. For instance, in Pohjanmaa, Kainuu and the far north, approximately a good fourth of the number of predominant seedlings still alive had come into existence prior to the cutting. In Forest Lapland, the corresponding proportion is almost one half of the number of seedlings, and in the Arctic mountain region it is still larger.

Height measurements indicated that those seedlings which had come into being prior to the cutting had a considerable head start as compared with the seedlings that had originated after the cutting. This is a point of considerable importance in forest regeneration.

As regards the regeneration value of the seedling stands, a survey revealed that a good fourth of the total number of stands could be classified as good, one half as satisfactory or passable, and one fifth as unserviceable. A detailed analysis showed, however, that a considerable number of those regeneration areas where the number of seedlings was inadequate fall under a group in which silvicultural measures have been clearly deficient or faulty. In view of this, the seedling stands can be regrouped and, as a result, the usefulness of the seed tree method appears in a more favourable light: Regeneration shows at least fairly satisfactory results in 72—90 % of the regeneration areas.

When trying to find out why it was that some regeneration areas had a good seedling stand while others had a poor one or none at all, some factors contributing to the situation came to light. For instance, it became apparent that regeneration areas that had been occupied by pure Scots pine stands prior to the regeneration cutting had, as a rule, a considerably better chance of success than had regeneration areas with stands comprising, in addition to Scots pine, a great number of Norway spruces and/or birches. Also, if the soil is rich in coarse grained matter, regeneration is easier than it is when the soil is fine-grained. Regeneration also derives great benefit from surface forest fires that have occurred prior to cutting. Furthermore, all those factors which in one way or another mechanically scarify the forest floor contribute to the birth of seedling stands.

A detailed survey of those regeneration areas which at the time of the investigation did not have a satisfactory seedling stand revealed that in many cases, a fairly small amount of work, for instance supplementary planting or release cutting, could have caused a passably good seedling stand to develop into a satisfactory one, provided action had been taken in time. On the whole, the silvicultural measures taken in the seedling stands have been minimal. In most cases they have been delayed or neglected altogether, or they have been incorrect. Delay in silvicultural measures was considered to be the reason why regeneration failed either partly or completely in 14 regeneration areas, which is about 7 % of the research material. Thus, it seems that the care of natural seedling stands has been given less attention than that of artificial seedling stands, even if in the natural seedlings stands the consequences have not been so disastrous.

It was noted with interest that in some regeneration areas, at the regeneration phase, there had been an adequate number of seedlings but they had been removed. The apparent reason for this was that the composition of the species in the stands did not satisfy the forester in charge of the operations. For instance, on *Vaccinium-*

type sites, the number of Scots pine seedlings had been too small, and the number of Norway spruce and/or birch seedlings too great. It seems that at least in some cases it would have been more advantageous to refrain from the removal. A stand that appeared weak at first could have been developed gradually into a Scots pine-dominated stand, by employing silvicultural methods.

Observations on Seedling Stand Injuries and on Consequencies of Delay in Silvicultural Measures

A detailed clarification of the injuries suffered by the seedling stands was not part of this study. However, when injuries were found, notes were made of their presence. Of special interest were traces of injuries in stands where regeneration had failed partly or completely even though the condition of the soil for the establishment of seedlings and the seeding capacity was found to be satisfactory. The notes made concerning the injuries revealed that various kinds of injuries had been inflicted by insects, fungi and mammals. Fresh traces of severe injury that had reduced the reforestation value of the seedling stands were present in about 7 % of the number of regeneration areas, which corresponds approximately to the damaged portion of the total area of the regeneration areas. Slight damage increasing to some extent the irregularity of the grouping of the seedling stands was encountered in about 25 % of the number of the regeneration areas. In the rest of the regeneration areas, traces of only insignificant damage were discovered here and there and some of the seedling stands were found to be intact and perfectly healthy. From the regeneration value stand point, the injuries were of the greatest significance in the northernmost zones, because there the initial number of seedlings was generally small and, therefore, even a fairly small loss of seedlings had severe consequences.

A review of the injuries suffered by the seedling stands prior to the time of the present study revealed that unfavourable growing conditions resulting primarily from competition with shelterwood, spruce undergrowth and thicket of broad-leaved trees had been in many cases the basic cause of the loss of seedlings. After release of the seedling stands, fungi and insect injuries had caused a considerable loss of seedlings, for the seedlings were then weak and susceptible to hazards.

In spite of the injuries described above, the general picture obtained of the condition of the seedling stands is favourable, because in natural seedling stands there is seedling material in such an abundance that they can afford losses better than can artificial seedling stands with a small number of seedlings. Under these circumstances, it does not seem necessary to apply fungi- and insecticides. Silvicultural measures suffice, as a rule, and in many cases it is not necessary to take any action at all.

INVESTIGATIONS ON THE FLOWERING AND SEED CROP OF PICEA ABIES

RISTO SARVAS

HELSINKI 1968

Helsinki 1969. Valtion painatuskeskus

Preface

Investigations on the seed crop of forest trees have been a tradition in Finland over a long period of time, especially at the Forest Research Institute. Chief among them, Heikinheimo's methodologically advanced studies, begun nearly 40 years ago, have created a solid foundation for subsequent research. Since this work has been going on for such a long time, anyone not closely acquainted with the facts might ask whether the possibilities of this subject have not been exhausted by now. One might as well enquire whether science itself still poses questions for us. In fact, as regards problems connected with the flowering and seed crop of forest trees, the mists seem finally to be lifting; only now do we begin to feel that we are on the verge of discovering a great secret of forest nature, which hitherto has been an enigma.

The present investigation was financed from American Agricultural Research Grant No. E8-FS-1/FG-Fi-117-61, made under U.S. Public Law 480. The investigation is to some extent a natural continuation of the research begun by Heikinheimo, but with the above-mentioned grant it was possible to render the research work much more effective and to direct it, even more than before, to the solution of causal relationships of a basic nature.

The grant, however, meant not merely the financing of the work, but also contact with American scientists working on closely related problems. The author takes this opportunity to express his sincere thanks for all their good advice and valuable suggestions. My particular thanks are due to Dr. Carl Ostrom, Director, Mr. H. A. Fowells, Director, Mr. R. T. Bingham, Pathologist, and Mr. Hans Nienstaedt, Project Leader.

In the course of the work I have been assisted by several persons both in the field and in the laboratory. The supervision of the field work was mainly undertaken by Mr. Olavi Helenius, M. For. and Mr. Reino Saarnio; the bulk of the very exacting microscopic work was carried out by Mr. Erkki Annila, M. Sc. Mrs. Eeva Seppänen supervised the laborious weighings and calculations of the male flower residue and the seeds. Mrs. Aino Lukkala performed the various secretarial duties. To all of them I express my sincerest thanks. The manuscript was translated from Finnish into English by Mr. Karl-Johan Ahlsved, M. For., and read through by Mr. Abbot Gleason, B. A., Mrs. J. M. Perttunen, B. Sc., and Mrs. Marja Dethlefsen.

Helsinki, March 20, 1968.

Risto Sarvas

Contents

Introduction 5
Flowering of Picea Abies 7
Male flowering 7
Quantity of male flowers 7
Seasonal course of anthesis 14
Pollen catch 23
Female flowering 30
Pollination 33
Pollination mechanism 33
Quantities of pollen received by the ovules 34
Quantities of pollen in pollen chambers 36
Germination of pollen 41
Development of the ovule 43
Pre-syngamic development 43
Syngamy 46
Post-syngamic development 52
Seed 55
Deficient ovules 61
Size and quality of seed crop 63
Discussion 70
Summary of principal results 74
Literature 77
Suomenkielinen selostus 80

Introduction

The flowering of forest trees and the subsequent production of the seed crop have attracted increasing attention year by year. As examples of investigations dealing specifically with the flowering and seed crop in *Picea Abies* (L.) Karst., the following publications might be mentioned: Soboleff and Fomitzeff 1908, Sylvén 1910, Hagem 1917, Heikinheimo 1932, 1937, 1948, Tirén 1935, Hagner 1965 a, 1965 b, Håkansson 1956, Sarvas 1957, and Andersson 1965. The need for more detailed and far-reaching knowledge than is available at present is particularly evident in questions pertaining to forest tree breeding.

Several aspects of the flowering process require to be investigated. The aim of the present investigation was a preliminary survey of the whole process from flowering to seed crop. This »whole» may be likened to a jigsaw puzzle — when a few pieces are fitted together, errors may be made which, even if great, do not strike the eye, but the larger the proportion put together, the less the danger of such mistakes becomes. On the other hand, it is evident that such a method has serious shortcomings; the observation of many details remains, of necessity, too superficial.

Even when flowering and the seed crop are studied in only one tree species, it proves necessary to treat most of the problems at three different levels: 1. the level of individuals, 2. the level of subpopulations (stands), and 3. the regional level, which includes several different subpopulations. At first glance, the above order might seem to be natural and logical, the work progressing from a small unit to increasingly larger ones.

In the present investigation, however, work was started at the level of subpopulations, rather than individuals. The reason for this is that the author has increasingly come to believe that it is the subpopulation, not the individual, that must be considered the basic unit of the flowering process. The individual has to be regarded as a fragment, a structural part of the basic unit formed by the subpopulation, whose behavior can be interpreted only after the behavior of the basic unit itself has been mapped out. Another important reason for beginning with the subpopulation was the surprising fact that in several essential problems quantitative information proved easier to obtain at the level of the subpopulation than at the level of the individual.

However, it is obvious that one cannot make much progress at the subpopulation level unless the phenomena are studied at the level of individuals as well. The same can be said for the regional level. Especially when, as for instance in a large part of Finland, one comes into contact with different marginal populations at the periphery of the range of the species, it is better, and indeed almost essential, to deal with a more comprehensive unit.

Flowering of Picea Abies

Male Flowering

Quantity of Male Flowers

In quantitative studies on the flowers of forest trees, the abundance of male flowers and the pollen production, which is closely related to it, have generally received less attention than the number of female flowers. This may be due, in the first place, to the fact that the female flowers, which later develop into seed-bearing organs, seem to be of greater economic interest

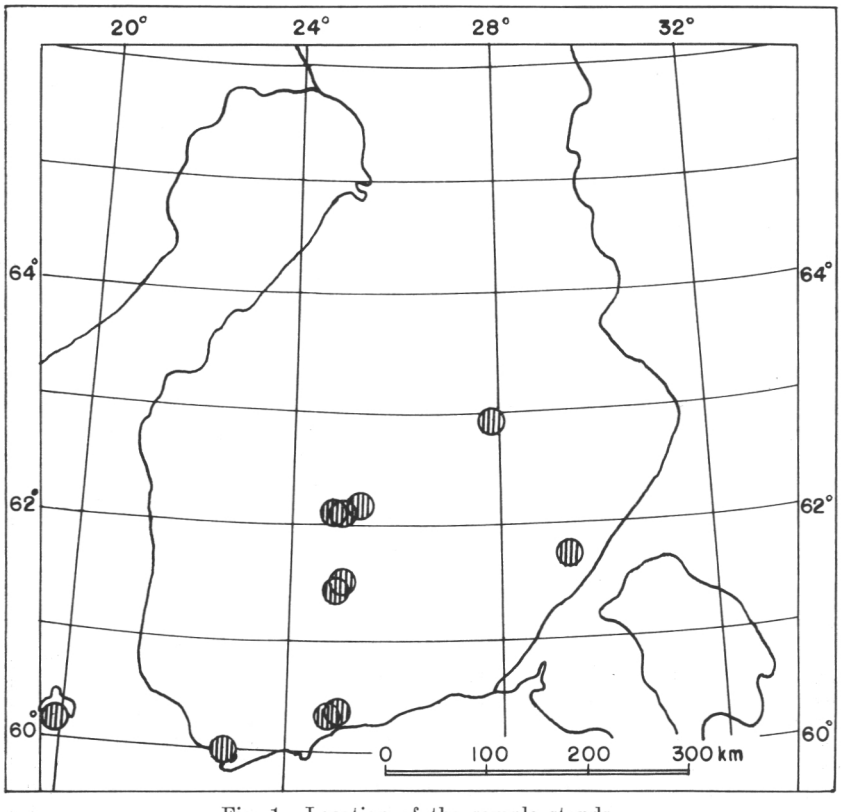


Fig. 1. Location of the sample stands.

than the male flowers. Perhaps, too, measurement of the abundance of male flowers and especially of the pollen production has appeared to present greater methodological difficulties in several tree species than quantitative measurement of the female flowers.

In the investigation of flower abundance, several types of variation have to be reckoned with: 1. variation within the tree crown, 2. variation between individual trees in a stand, and 3. variation between stands. In this investigation, we were most interested in the variation between stands, because this seems to provide a good basis for study of the variation mentioned above under points 1 and 2.

The study areas chosen were located in South-Finland. The stands to be studied were selected from mature or nearly mature pure spruce stands which had previously been thinned from below. As regards the area of the stands, 2 hectars was fixed as the minimum; several of the sample stands, however, were much larger.

For the purpose of describing the sample stands, the most important common stand characteristics were assessed, and are shown in Table 1. The dominant height was defined as the mean height of the 100 thickest trees per hectare. The age was estimated from the number of annual rings at the root crown (»the point of germination») of the dominant trees. In several cases the sample stands had originated as undergrowth and become stunted under the mother stands for periods of varying length, as could be seen from the over-density of the innermost annual rings. In stands of this kind the age was determined by estimating the average number of annual rings at 1.3 m. height of the dominant trees, and transforming this to correspond to zero height with the aid of tables based on normal stand development.

Table 1. *Picea Abies*. General information concerning sample stands.

Location	Sample stand No.	Geographical		Elevation from sea level, m.	Area of stand ha.	Stand				
		latitude	longitude			year when measured	age yrs	dominant height m.	trees per ha.	crown coverage %
Jomala	II	60°09.1′	19°58.0′	10	8	1962	73	22.9	208	40
Bromarv	I	60°02.4′	23°02.7′	18	6	1960	112	28.3	332	45
Tuusula	XXIX	60°21.2′	24°59.9′	50	5	1960	166	28.0	440	45
Tuusula	XXX	60°21.3′	25°01.6′	53	8	1960	68	22.5	620	65
Padasjoki	III	61°24.3′	25°03.2′	111	3	1962	83	27.0	420	66
Padasjoki	IV	61°24.3′	25°03.2′	113	2	1961	99	29.0	324	66
Punkaharju	LII	61°48.8′	29°19.5′	92	3	1960	79	21.3	510	71
Vilppula	VIII	62°03.7′	24°21.8′	131	1	1959	72	25.7	276	·
Vilppula	XVII	62°01.3′	24°30.2′	118	1	1963	73	26.0	240	·
Kuorevesi	XXXV	62°01.0′	24°48.0′	108	3	1967	80	19.8	600	·
Siilinjärvi	544	62°58.9′	27°44.7′	139	15	1966	67	20.9	496	51

The number of trees and crown coverage of the growing stock were estimated and calculated chiefly for the purpose of characterizing the stand density. The number of trees refers only to the main stand, and does not include the undergrowth. The crown coverage was measured by the point method, using Cajanus' cylinder (S a r v a s 1953).

The investigations of the quantity of male flowers are based upon the male flower residue falling to the ground after flowering. By collecting random samples of the residue, drying them at +105° C for a 24-hour period, and then weighing them, we arrived at a value indicating the quantity of male flowers. For the collection of the random samples, seed traps installed in the sample stands for the measurement of the seed crop were used.

The seed traps used (cf. S a r v a s 1962, p. 19, Fig. 6) were funnel-shaped and made from sheets of galvanized iron. The area of the mouth of a trap was one-half sq. m., and the diameter of the lower end 10 cm. To the lower end a cloth bag permeable to water was attached, and inside the funnels, reaching from the lower end to the mouth, a thin stick was fixed, which enabled squirrels, birds, and other animals, which might fall into the funnels, to get out. The traps rested on three posts, the mouth being 1.3 m. above the ground. The bags were usually emptied once a month. The separation of the male flower residue from other litter was carried out in the laboratory.

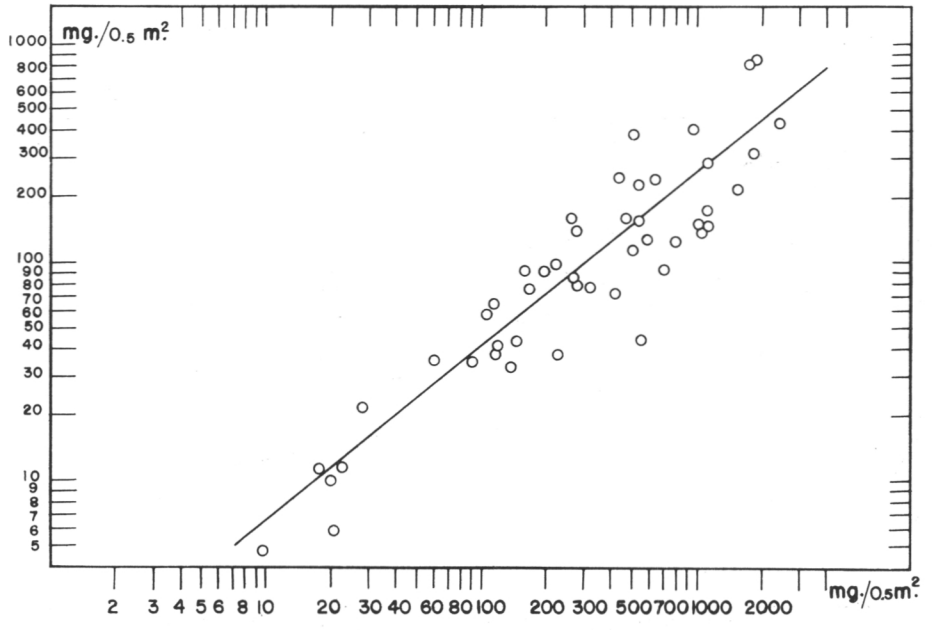


Fig. 2. *Picea Abies*, South-Finland. Regression of standard deviation of male flower residue measurements, g. per 0.5 m.² of growing area of the stand, on the mean of the measuring results. The regression equation is log y = +0.032 + 0.796 log x. Scale logarithmic.

In using this method of investigation, the question arose as to how many traps had to be installed to yield results of the required standard of accuracy. This question was solved by preliminary studies of the standard deviation. As the standard deviation is obviously strongly dependent on the quantity of male flower residue this relationship was studied. Fig. 2 shows the relationship in the form of a graph. In a logarithmic scale the scatter plot was levelled to a straight line according to the method of least squares, of which the equation is $\log y = +0.032 + 0.7955 \log x$.

When the standard deviation is known approximately, it is possible to calculate the accuracy attained by using different numbers of traps (cf. Sarvas 1962, p. 152—153, Hagner 1965 b). The inference cannot be discribed briefly and, therefore, it is proposed that a separate report should be published concerning it. Only the main results are presented in this connection.

The results (with 95 % confidence) of the calculations carried out are shown graphically in Fig. 3. This diagram reveals that the poorer the male flowering the greater the number of traps needed for its measurement when a certain degree of accuracy is required. When, as is often the case in biological research of this kind, it is required that the variation coefficient of the measurements shall not exceed 0.1, about 30 traps are needed when the amount of residue exceeds 1 g/sq.m. When the amount of residue is smaller, many more traps are required to achieve the same accuracy. When, for

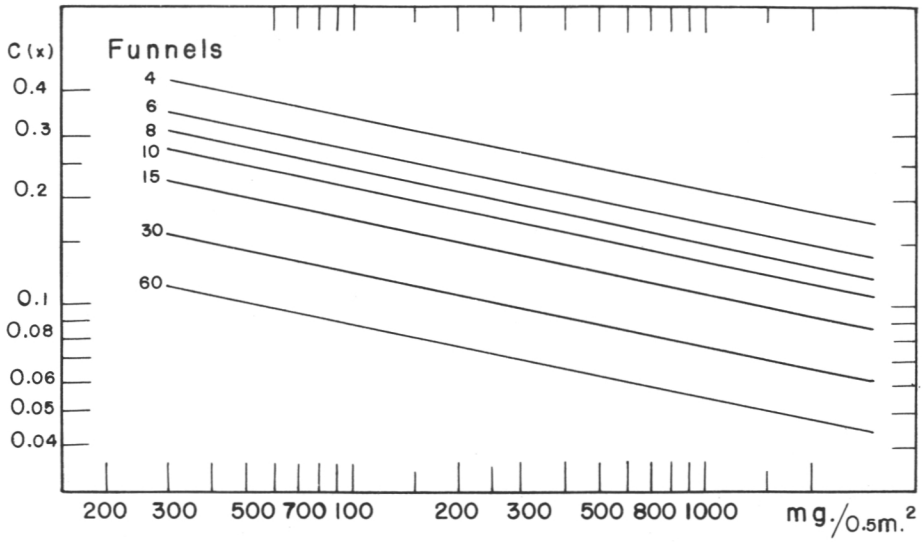


Fig. 3. *Picea Abies*, South-Finland. Variation coefficient of measuring results of male flower residue at the 95 % level of confidence. As independant variable the mean of the measuring results of different funnels. Scale logaritmic.

instance, the amount of residue is 0.1 g/sq.m., the number of traps necessary is already about 60. It is, therefore, obvious that with very small amounts of residue the practical obstacles to accurate measurement by means of the funnel method are almost insurmountable. For this reason, in the present investigation, only with yields of 1.0 g/sq.m. or more did we attempt to measure with an accuracy which kept the variation coefficient below 0.15. Measurements of yields less than 1 g/sq.m. were included, bearing in mind that they involved a high variation coefficient.

The standard deviation of the measurements derives additional interest from the fact that it is one of the characteristics of the flowering process itself. The standard deviation is naturally the outcome of the operation of many factors. The traps were not exactly similar, and their location especially can cause significant microclimatic differences, particularly as wind conditions often have a more disturbing effect at certain sites than at others. Attachment of a windshield of the kind commonly used on precipitation meters, for example, would have diminished this source of variation considerably. However, the varying male flower production within the stand must be recognized as the most important source of variation. The short dissemination distance of the male flower residue adds to the significance of this factor.

The uneven distribution of flowering in a given area is also clearly brought out when the flower abundance is studied tree by tree. The differences within the stands are considerable. In the spring of 1965, for instance, the female strobili of 20 trees chosen at random were counted in sample stand I at Bromarv. The total number was 374, and of this total 297, or 79 %, were counted on the same tree.

It was not possible to make a detailed study of the factors causing the considerable differences observed between individual trees with respect to flower abundance, in this investigation. In this connection, we must content ourselves with pointing out the existence of such differences; they make the measuring of the flower abundance in stands more difficult.

The data of the male flower residue are given in Table 2. The sample stands are presented in sequence from south to north. Comparison of the annual values obtained from the same stands shows that there are great annual fluctuations in the abundance of male flowering. These fluctuations and the factors causing them were also disregarded in this study. The differences between the mean values for the whole period under review are smaller. In the study of the means of the annual values it should be noted that in several stands the period of measurement is obviously too short for the calculation of average. On the other hand, it must be said that very long periods of measurement are hardly suited for such a calculation either, because of the fact that during long periods of measuring, essential develop-

Table 2. *Picea Abies*. Results of measurements of male flower residue. Dominant height refers to the mean of the measuring period.

Location	Sample stand No.	Dominant height m.	Flower year 1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	Mean
			Residue g./m²													
Jomala	II	23.0	—	—	—	—	—	0.13	0.80	4.26	1.32	4.02	0.64	1.19	(6.00)	2.30
Bromarv	I	28.0	—	—	—	—	—	—	0.43	2.93	0.41	6.21	0.73	3.51	9.71	3.42
Tuusula	XXIX	27.0	—	3.13	0.26	0.45	2.03	1.71	2.46	4.24	—	—	—	—	—	2.04
Tuusula	XXX	24.0	0.18	3.05	0.19	0.24	1.21	2.98	1.56	2.36	0.26	4.73	0.89	1.11	11.73	2.35
Padasjoki ...	III	27.1	—	3.44	0.32	0.53	3.11	6.24	0.97	2.76	0.41	5.88	2.20	2.98	—	2.62
Padasjoki ...	IV	29.0	0.83	4.38	0.18	0.98	4.15	6.37	2.80	4.14	0.85	7.54	2.43	4.75		3.28
Vilppula	VIII	23.5	—	3.44	0.32	0.53	2.28	2.09	0.75	0.46	0.17	1.96	—	—		1.33
Vilppula	XXV	28.5	—	—	—	1.22	2.62	3.24	1.68	1.17	0.54	4.70	—	—		2.17
Vilppula	XVII	25.5	—	4.60	0.18	0.99	2.56	4.06	1.42	0.96	0.18	2.35	1.18	2.44		1.90
Siilinjärvi ...	544	20.5	—	—	—	—	—	0.78	1.33	0.82	0.43	1.13	2.95	2.20	(1.69)	1.42

ment and changes take place in the stands. An optimal length for the measuring period, however, seems to be closer to 10 years than to 5.

The stands chosen for investigation in southern Finland are all growing on fertile sites that differ from one another only slightly with respect to soil fertility. The growing stock, however, varies considerably in different stands, especially as regards age and dominant height. As the age and the dominant height are closely related, it seemed appropriate to study the relation of the

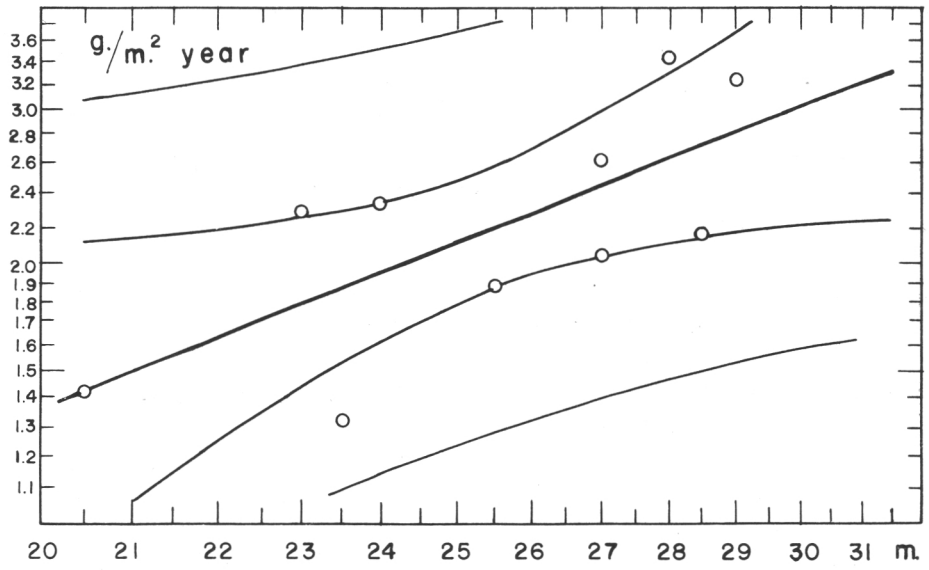


Fig. 4. *Picea Abies*, South-Finland. Regression of the annual mean production of male flower residue, g. per m.² of growing area of the stand, on the dominant height of the stand. The equation of the regression line is log y = —2.459 + 1.991 log x. The standard deviation from the regression is 0.076 g./m.² The inner curves indicate the confidence belt of the regression line, the outher curves the confidence belt of a single prediction, at 95 % level of confidence. Scale logarithmic.

average of male flower residue to the dominant height of the stands. The result of the analysis is depicted in Fig. 4. The scatter in the logarithmic scale was levelled, according to the method of least squares, to a straight line, which in this case seemed to be the simplest approximation. The equation of the fitted straight line is $\log y = -2.459 + 1.991 \log x$. The regression line slopes steeply indicating that the quantity of male flowers increases strongly as the dominant height of the stands increases. Since the differences in the site fertility of the sample stands are relatively small, the height differences are mainly due to differences in age. Hence it cannot be concluded from the material whether stands on sites of differing fertility would follow the regression obtained here. From northern Finland, however, data are available for two stands on poor sites, which seem to suggest that in fact they do so, although the average values obtained for the quantity of male flowers are somwhat smaller than would be expected from the regression.

Previously (S a r v a s 1962, p. 23) coefficient have been published by which the amounts of male flower residue of the tree species now in question may be multiplied in order to arrive at the amounts of pollen which have probably been shed from the residue. The value of the coefficient obtained for *Picea Abies* in spruce stands in southern Finland is 1.97, and for *Pinus sylvestris* L. in pine stands in southern Finland, 0.75 ± 0.03.[1])

On examination of the regression presented in Fig. 4, it can be observed that the pollen yield in mature stands of *Picea Abies* growing on fertile sites is quite large, at times reaching 60 kg. per hectare, even in the climatic conditions prevailing in Finland. Since the bumber yields of *Picea Abies* are 2—3 times as large as the average, the pollen yield in the best spruce stands in southern Finland is 120—160 kg. per hectare in years of peak yields. At latitudes south of Finland the highest yields of *Picea Abies* may obviously be considerably greater.

A detailed survey of the regional variation is beyond the scope of the present investigation. For such a survey, material would have to be collected from a considerable part of the whole range of *Picea Abies*. The material gathered in northern Finland does, to a certain degree, extend the scope of the investigation, but being collected from the area close to the northern limit of the range of *Picea Abies*, it can hardly compensate for the lack of material from regions south of Finland.

The quantities of male flower residue measured in spruce stands in the north were very scanty. The annual values varied only from 0.3 to 0.55 g/sq.m., in spite of the fact that the best mature spruce stands in the area were chosen for investigation. On the other hand, it is interesting to know

[1]) F i e l d i n g (1960, p. 39) has weighed pollen of *Pinus radiata* Don and the corresponding male flower residue, obtaining the result 1.1 lb/2.5 lb = 0.44. This might indicate that the coefficients do not differ much in different species of the same tree genus.

that the flower abundance in these stands is not appreciably smaller than might be expected when, with dominant height as a basis, comparison is made with conditions in southern Finland.

Seasonal Course of Anthesis

In our investigations of anthesis we attempted to study its general features in *Picea Abies*, and the dependence of the timetable of anthesis on meteorological factors.

In the study of anthesis in one or a few trees, detailed observations and measurements can be carried out on the opening of the pollen sacs of the anthers and the shedding of pollen (cf. S c a m o n i 1938). However, when whole tree stands form the objects of study, great difficulties are posed by a method of this kind. For this reason, an indirect method was used in the present investigation of anthesis: studying the pollen catch. The pollen catch is naturally something essentially different from anthesis, but it seemed to make it possible to draw som conclusions with respect to anthesis. The pollen catch, as a parameter of flowering, has several great advantages: satisfactorily representative samples can be obtained at reasonable cost, and automatic registering apparatus can be used for taking the samples.

It should at once be pointed out that the pollen catch has two components: pollen shed from the sample stand, and pollen drifting into the sample stand from its surroundings, the so-called background. The larger the stands in which the investigation is carried out, the smaller is the relative effect of the background on the general picture. This is one of the reasons why a certain minimum size (about 2 ha.) was prescribed for the stands to be investigated. The background can be estimated approximately by taking samples at crown height in some adjacent stand of another tree species, at the same time as sampling is carried out in the stand under investigation. Preliminary investigations of this kind have revealed that although the background is considerable, often about 10—20 %, its influence on estimations of the time-table of anthesis in the stands being investigated is so slight that it can be ignored, provided large areas are in question.

In the study of the course of the pollen catch, previously developed methods were principally used (cf. S a r v a s 1962, pp. 26—28). The apparatus and methods, however, have been improved.

The recording sampler used for measurement of the pollen catch has been described earlier (S a r v a s 1962, p. 27). The principle is the same as before. Perhaps the most important improvement, in comparison with the apparatus used previously, is the greater sensitivity of the vane (Fig. 5 a). Previously only one sampler had been installed in each sample stand, but

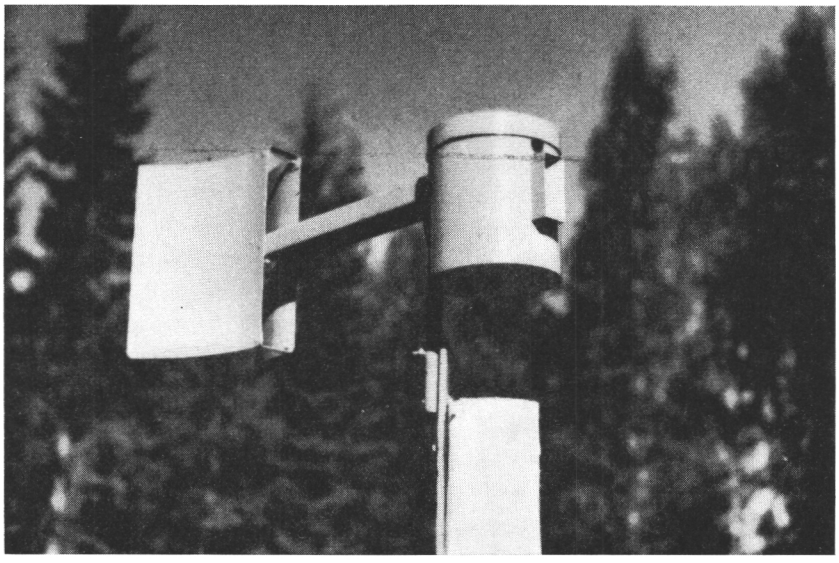


Fig. 5 a. Registering pollen sampler in operation.

now 2—3 were used. In the sample stands the samplers were now attached to the tops of masts erected for this purpose. The masts we equipped with steps to make climbing easier. Our aim was to place the samplers at about the average height at which the male flowers occurred. But to ensure a certain uniformity between different stands, some system was adopted at the same time; so the samplers were located, in all stands, at a height corresponding to 85 % of the dominant height. Sampling was started in good time, before the beginning of anthesis, and continued for about one week after the date when the process appeared to be over. This meant that, on the average, measurements of anthesis were carried out during about four weeks, there being consequently four celluloid bands for each sampling point, each with a greater or lesser quantity of pollen attached to it.

The coating of petrolatum was applied in the laboratory. It was spread and smoothed with a roller especially constructed for this purpose. For transport and storage of the bands, albums were made. These were so constructed that the petrolatum could not touch the covers. On reaching the laboratory, the bands were sprayed with Nobecutan, a preparation which is used in surgey, or with »Gypsospray». After spraying, the surface was smoothed by keeping the bands at $+40°$ C for about 5 minutes.

For the microscopic study of the bands, a mechanical stage was specially constructed to facilitate movement (Fig. 5 b).

The examination of the bands was carried out in the following way: Across the band, at intervals corresponding to four hours, counts were made

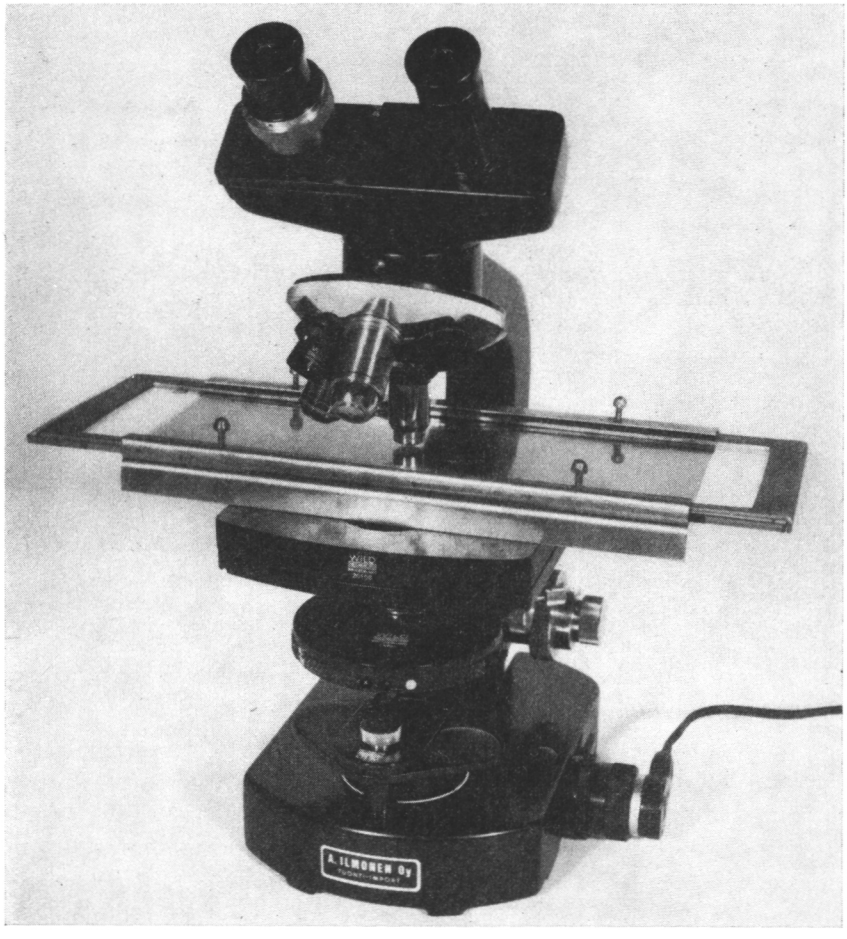


Fig. 5 b Frame installed in microscope to facilitate reading of anthesis bands.

on circular sample areas along a straight line; on each crossline on the band 10 circular sample areas the size of the field of vision of the microscope were taken. Thus for each day's record 60 circular sample areas were studied on each band (120, counting both bands). In each area all pollen grains were counted. Later, the results were transformed into figures of pollen per sq.mm. per day.

Although the pollen recording sampler is a great advantage in the study of the time-table of the pollen catch, it also has certain flaws (cf. e.g. S a r v a s 1962, pp. 36—39) which ought to be mentioned again in this connection. Probably the weakest feature of the device is the form of the collecting surface. Because of the sensitive vane, which always turns the mouth of the recording sampler towards the wind, the sampler behaves as if the col-

lecting surface had the form of a vertical cylinder. However, the surface of a cylinder is not the best possible collecting surface. When the velocity of the wind is less than about 2 m/sec., the pollen shed by anthesis is lifted almost vertically by convection currents in the air. In such cases the results are much less precise than, for example, if a globular collecting surface is used. Consequently, for reasonably accurate functioning of the sampler at least slight wind (velocity exceeding 2 m/sec) is necessary. This fact must be taken into consideration when the results of the measurements are interpreted.

The study of the course of anthesis was performed in sample stand Tuusula XXX in the years 1962 and 1964.

For the purpose of interpreting the data, meteorological observations were made in the stands under investigation. The primary focus of interest was upon temperature, but precipitation and wind velocity were also measured.

Since in closed stands the occurrence of both male and female flowers is concentrated at a relatively great height in the upper parts of the canopy, it was important to carry out temperature measurements at a level corresponding to this height. The dominant height was chosen for the observations. It was slightly greater than the level of flowering, but, on the other hand, it offered important methodological advantages. It may be supposed that the microclimatic variation in temperature at this level is less than it is a few meters lower down, and that ventilation of the instrument screen is better.

A mast was erected in each sample stand, at the top of which was attached a meteorological screen, equipped with a thermograph and a control thermometer. To the mast below the screen a platform was attached, standing on which the observer could, safely and without difficulty, take the necessary readings, and change the bands in the thermograph. Close to the box, an anemometer was installed, and on the ground, in an adjacent open place in the stand, a rain gauge.

Observations were started in good time in the early spring, before the daily temperature had exceeded $\pm 5°$ C at all; in southern Finland this meant in early March. Readings of the control thermometers were taken twice a day. The daily mean temperature was later calculated as the average of 12 readings at odd hours from the thermograph bands. The daily mean temperatures were corrected according to the weekly average of the control readings.

As it was already provisionally known from earlier investigations that the course of anthesis is largely determined by the thermal factor, it was decided that particular stress should be placed on this factor. Of the many possibilities for describing the thermal factor, the temperature sum with

+5° C as threshold value was chosen after rather extensive experiments. This temperature sum is best defined by the following equation:

$$T_{+\,5^\circ\,C} = \sum_{m=1}^{n} (t_m - 5),$$

in which $T_{+\,5^\circ}$ (degree days) is the temperature sum (with +5° C as threshold value), n the number of days with a mean temperature higher than +5° C and t_m the mean temperature of those days.

As investigations concerning the use of the temperature sum are still, in many respects, only in the preliminary stage, the choice of method must naturally be considered rather arbitrary and, in any case, only an approximation of something more accurate and better adapted to the physiology of the trees, which may, perhaps, be used eventually.

Treatment of the data on the time-table of anthesis was carried out according to the pattern presented in Table 3. It was thus a question of constructing a table of the frequency distribution of temperature sums with varying pollen catches, and calculating the mean temperature sum for the pollen catch, and its standard deviation.

Table 3. Frequency distribution of the temperature sums of pollen catches. *Picea Abies*, Tuusula XXX, 1964. In calculating the cumulative frequencies the background pollen catch has been omitted.

Date	Hour		Difference	Average	Point		Average	Grains/mm².d.d.	Cumulative frequencies
	24	0			1	2			
	d.d.				Grains/mm².				
11—17. V ..	61.2				0	0			
18.	63.1	61.2	1.9	62.1	0	0.21	0.10		
19.	67.3	63.1	4.2	65.2	0	0.21	0.10		
20.	74.2	67.3	6.9	70.7	0	0.21	0.10		
21.	81.4	74.2	7.2	77.8	0	0	0		
22.	86.0	81.4	4.6	83.7	0	0	0		
23.	94.5	86.0	8.5	90.2	0	0.42	0.21		
24.	104.6	94.5	10.1	99.5	0.63	1.26	0.94	0.09	0.152
25.	114.1	104.6	9.5	109.3	1.05	2.10	1.57	0.17	0.406
26.	123.6	114.1	9.5	118.8	4.20	17.10	10.6	1.11	2.12
27.	134.0	123.6	10.4	128.8	94.5	47.2	47.2	4.54	9.76
28.	144.8	134.0	10.8	139.4	391	195	195	18.0	41.37
29.	151.4	144.8	6.6	148.1	502	251	251	38.0	81.94
30.	158.9	151.4	7.5	155.1	156	78.2	78.2	10.4	94.6
31.	163.8	158.9	4.9	161.3	46.4	23.2	23.2	4.76	98.35
1. VI ..	173.2	163.8	9.5	168.5	20.4	10.2	10.2	1.07	100.00
2.	179.6	173.3	6.3	176.4	29.0	14.5	14.5	2.30	
3.	186.4	179.6	6.8	183.0	94.9	47.4	47.4	6.95	
4.	195.2	186.4	8.8	190.8	0.84	0.42	0.42	0.05	
5.	205.5	195.2	10.3	200.3	4.00	2.00	2.00	0.20	
6.	212.7	205.5	7.2	209.1	6.10	3.05	3.05	0.42	
7.	220.2	212.7	7.5	216.4	5.25	2.62	2.62	0.35	
8.	223.9	220.2	3.7	222.0	2.31	1.15	1.15	0.31	
9.	231.4	223.9	7.5	227.6	3.36	1.68	1.68	0.22	
10.	241.1	231.4	9.7	236.2	3.60	1.80	1.80	0.19	

Before a close examination of the data is started, it should be mentioned that all sampling was done in 1962 and 1964 respectively, during which years male flowering in *Picea Abies* in the stands under observation was abundant. It was obvious to the naked eye that in almost all trees, male flowering was abundant, although naturally more so in the dominant trees

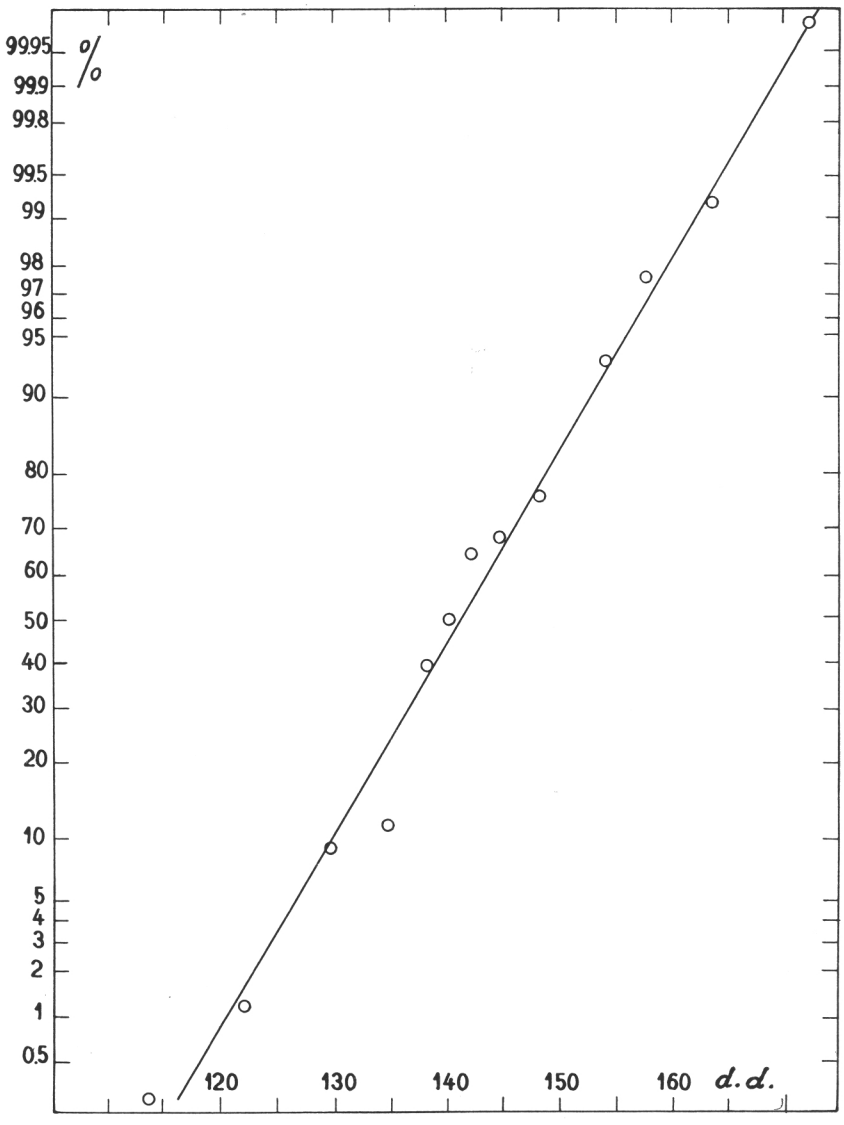


Fig. 6. *Picea Abies*, Tuusula XXX, 1962. Cumulative frequencies of the temperature sums of the pollen catches, on frequency paper. The mean obtained from the levelled line is $\bar{x} = 141.5$ d.d., and the standard deviation of the distribution $s = 9.0$ d.d

than in the dominated ones. In years with less abundant male flowering, the picture, as is known, is less consistent; in some trees flowering is abundant, in others less abundant, and in a great many trees no flowering takes place at all. It appears legitimate to assume that abundant male flowering offers the investigator of anthesis some kind of normal picture, not because it is common, but because it is as complete as possible, and thus, perhaps, easiest to interpret. According to preliminary results, which there is no reason to present in greater detail in this connection because of their many methodological weaknesses, it seems that in years of poor male flowering, the picture of anthesis remains less complete than in years of abundant flowering, and is perhaps best interpreted as a fragment of the picture in abundant years. It is, therefore, deduced that the study of the time-table of anthesis in *Picea*

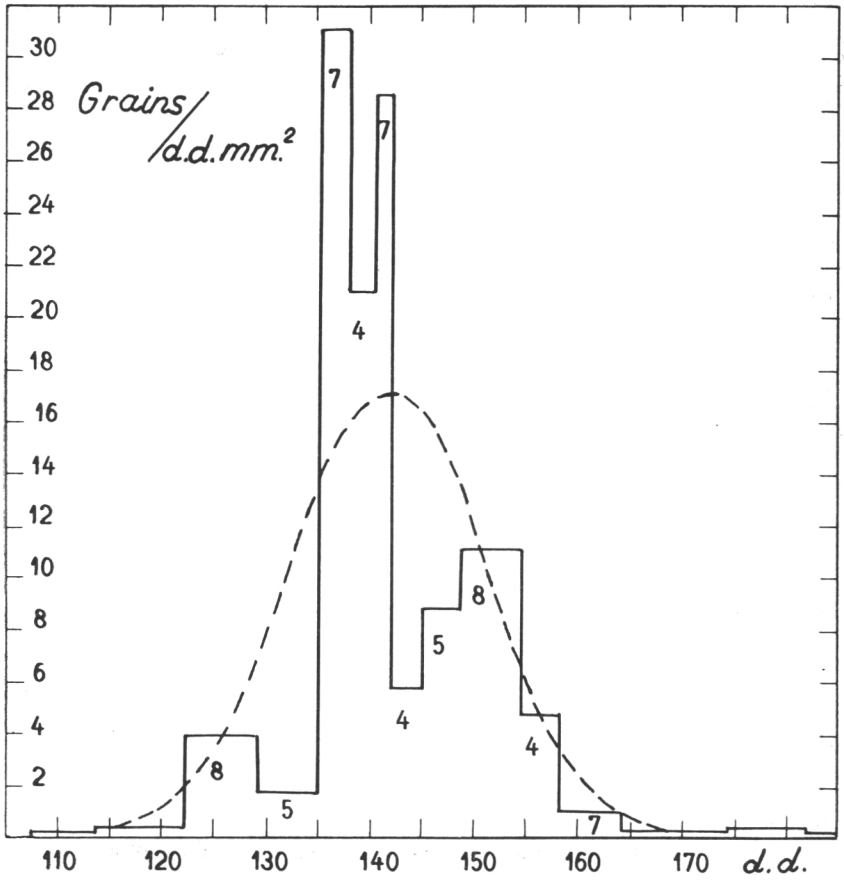


Fig 7. *Picea Abies*, Tuusula XXX, 1962. Histogram of the frequency distribution of the temperature sums of the pollen catches. The closest corresponding normal distribution is indicated by the broken line. The figures at the top of the rectangles indicate the wind velocity at 14.00 h. The mean, $\bar{x} = 141.5$ d.d. (June 1, 1962).

Abies in 1964 was carried out under favorable external conditions, and that the results afford a good basis for later investigations which may be carried out in years in which flowering is poorer.

When the cumulative frequency distribution of temperature sums of pollen catches was plotted on frequency paper (Table 3 and Fig. 6), it was discovered that the points were scattered in such a way that they could be levelled to a straight line without misrepresenting the data. This line was derived according to the method of least squares. Closer examination of Fig. 6 reveals that although the distribution of the points at first appears close to normal, there are, nevertheless, some points diverging considerably from the levelled line.

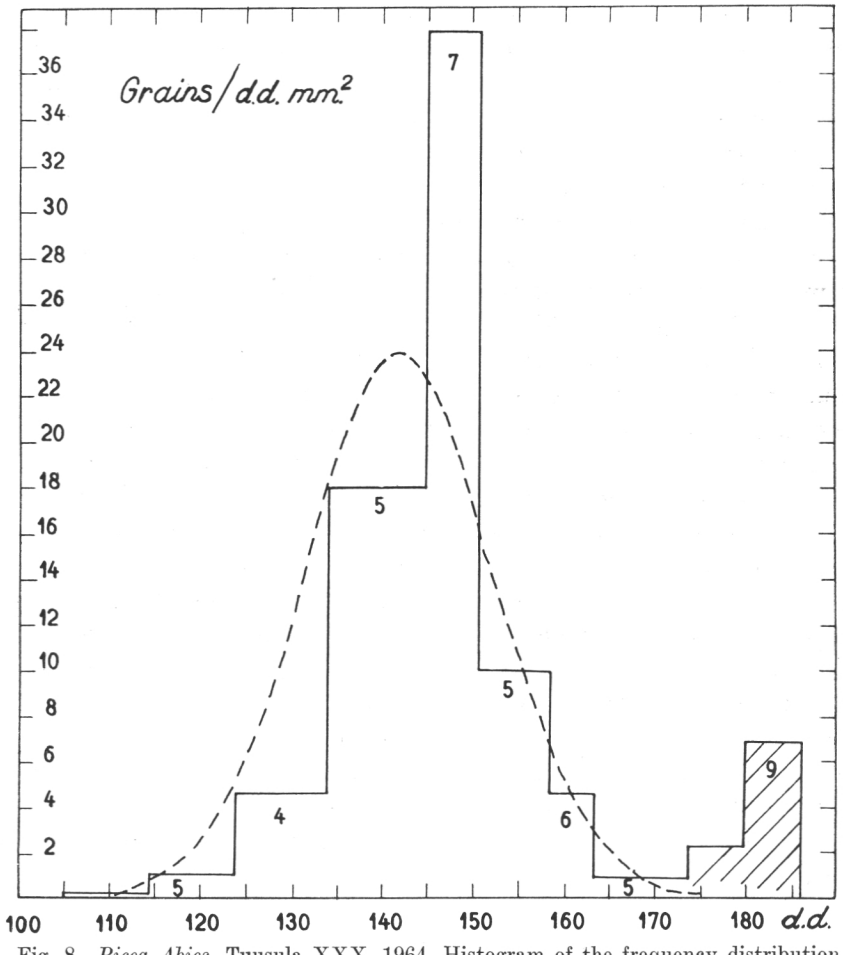


Fig. 8. *Picea Abies*, Tuusula XXX, 1964. Histogram of the frequency distribution of the temperature sums of the pollen catches. The closest corresponding normal distribution is indicated by the broken line. The figures at the top of the rectangles indicate the wind velocity at 14.00 h. The mean, $\bar{x} = 142.0$ d.d. (May 28, 1964).

Perhaps an even more precise idea of the frequency distribution of the temperature sums of pollen catches can be obtained by studying it in the form of a histogram. The histograms in Figs. 7 and 8 indicate the course of anthesis in sample stand XXX at Tuusula in 1962 and 1964. In addition to the frequency columns, the curve of the normal distribution closest to the histogram in question is indicated by a broken line and the wind velocity (m./sec.) at 14.00 h. at the top of each column. The histograms clearly reveal the deviations from a normal distribution. However, it is evident that the columns considerably exceeding the curve of normal distribution give the results of sampling carried out when the wind was strong, and those markedly below, the values obtained during the following days. Strong winds accelerate the anthesis process in two ways: the anthers of the stamens dry faster in strong winds than when weaker winds prevail, and the pollen sacs of the anthers are emptied more rapidly and more completely by strong winds. This acceleration of anthesis is of short duration, however. Strong winds can only cause the pollen sacs to open and empty rapidly when they have already reached a certain stage of ripeness. The reaction sets in the following day even if the wind remains strong.

If we suppose, as a working hypothesis, that the seasonal course of anthesis is controlled by the temperature sum, the interpretation of the diagrams of frequency distributions of temperature sums of pollen catches takes the following form. The opening of the pollen sacs takes place $\pm$ exactly at a certain temperature sum. Between individual trees, however, there are genetic differences; some individuals react more sensitively to the temperature sum than the average tree, while, others react more slowly. According to the simplest presumption, the frequency distribution of the individuals with respect to sensitivity is more or less close to the normal distribution. But it is not only with respect to genetically controlled sensitivity that the pollen sacs of the anthers differ from each other. In relation to their micro-environment the temperature sum at which they ripen varies. Some pollen sacs are at higher levels in the canopy, others at lower; some on the south side of the canopy, others on the north, etc. All these factors cause differences in the temperature sum of the immediate environment. Here again, it is simplest to assume that the frequency distribution of the temperature sums of the microenvironments more or less approaches the normal distribution. If the time-table of anthesis is controlled by the temperature sum, it may accordingly be expected that the distribution of temperature sums of pollen catches will take the shape of the normal distribution.

If the time-table of anthesis is controlled by the temperature sum alone, it may be expected that, in genetically identical populations the time-table will be about the same in different stands and years (in years of abun-

dant male flowering when most of the trees flower). Even the frequencies measured in 1962 and 1964 in sample stand XXX at Tuusula correspond to this expectation; there is no significant difference between the means.

According to the investigations now being carried out, there is no reason to go further. The data are still scanty. One can only observe that the working hypothesis dealt with here, and it is not a new one, was supported by the investigations carried out, and that we, therefore, seem to be justified in continuing the investigation along the same lines as in this study.

Pollen Catch

One of the principal aims of the present investigation was to increase our knowledge of the pollination of the ovules in *Picea Abies* when pollination takes place freely in mature or nearly mature stands. With this aim in mind, it was necessary to obtain precise quantitative information on the pollen catch in different stands, and in the same stands in different years.

The values obtained by a study of the time-table of anthesis also offer an approximate measure of the pollen catch. It has been pointed out, however, that these results suffer from serious defects, because of the fact that the form of the collecting surface was not ideal. When the values for pollen catch were collated, we found that greater precision was obtained when using samplers with a globular collecting surface.

A globular collecting surface undoubtedly involves greater technical difficulties than a plane (e.g. glass slide) or cylindrical one. However, this is not a decisive criterion in the choice of measuring method, for the emphasis must be on the serviceability of the results obtained. In addition, it was found that many of the technical difficulties associated with the use of globes could be overcome by taking suitable precautions. Especially after we had learned to count the pollen grains caught on the globes directly from the surface of the globes, we found that they were not essentially more difficult to manage than cylinders or slides. As regards the structure and use of the globes, reference should be made to an earlier publication (S a r v a s 1962, pp. 36—47). Protection of the globes from rain was one of the most difficult technical problems to be solved in connection with measurement of the pollen catch. In cooperation with Mr. M a t t i W i l s k a, M. Sc. Eng., a globe sampler was constructed in which the globe could be brought under cover, when necessary, by a tiny electric motor (Fig. 9). All the meters were linked to one control panel, so that all the globes could be pulled into the shelter at the same moment by pressing a button and, likewise, re-exposed immediately after the rain had passed (Fig. 10). The new apparatus

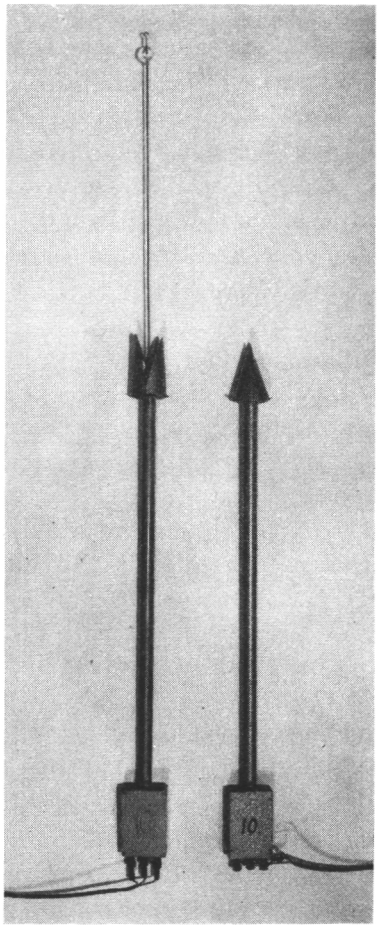


Fig. 9. Pollen sampler with globular surface. From below: electric motor box; globe meter shaft box; globe meter shaft; globe. Left: globe recessive, right: globe sheltered. Scale 1 : 10.

is not much more expensive than that used before, but protection is much more reliable, and the number of men in the field can be reduced.

Two questions arose in connection with the use of the globes: what size of globe is best fitted for the purpose, and how many globes are needed in a certain stand to obtain the required degree of precision.

In earlier studies of *Pinus sylvestris* the author ended by using globes 30 mm. in diameter, and the same globes seemed suitable for our present purpose in the work on *Picea Abies*. As the resulting estimate of the pollen catch depends on globe size, and apparently varies in different ways in different tree species, it seemed necessary first to ascertain the relation of pollen catch to globe diameter. The study was carried out in an opening in a

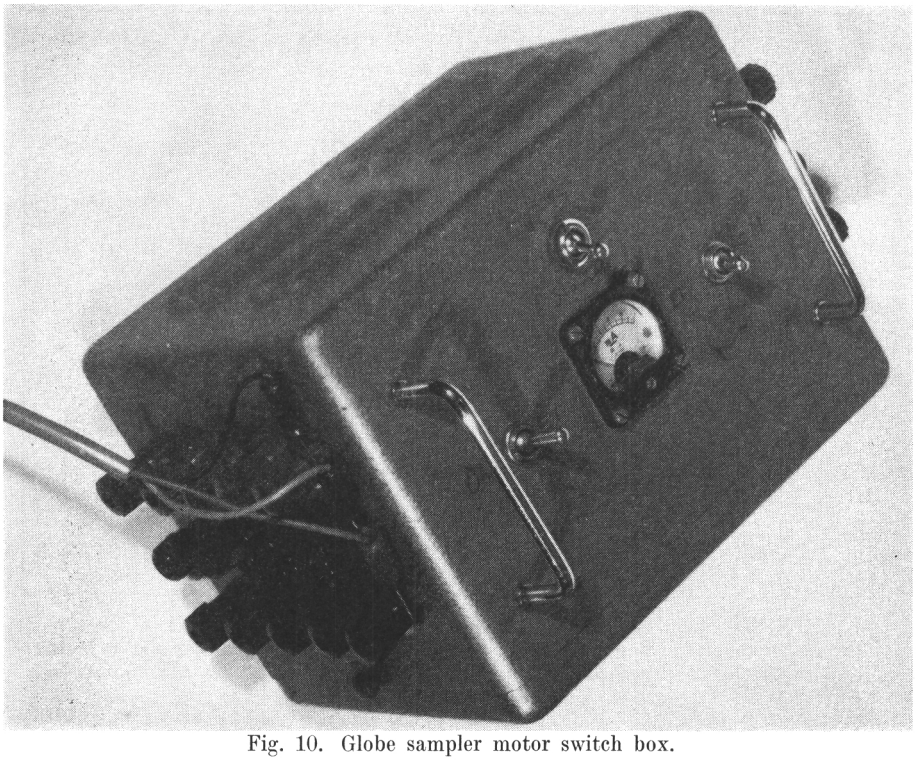


Fig. 10. Globe sampler motor switch box.

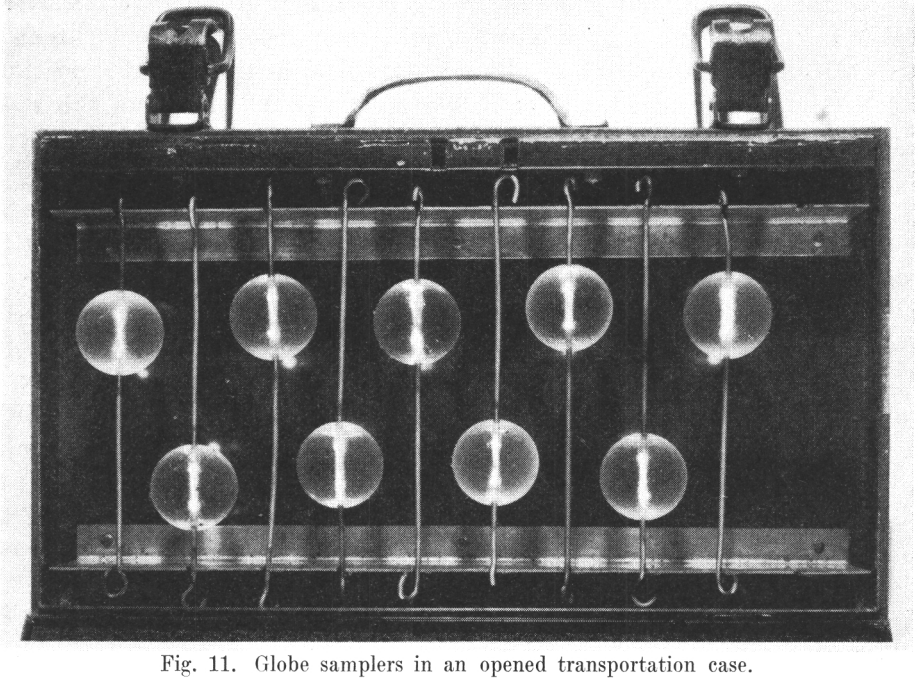


Fig. 11. Globe samplers in an opened transportation case.

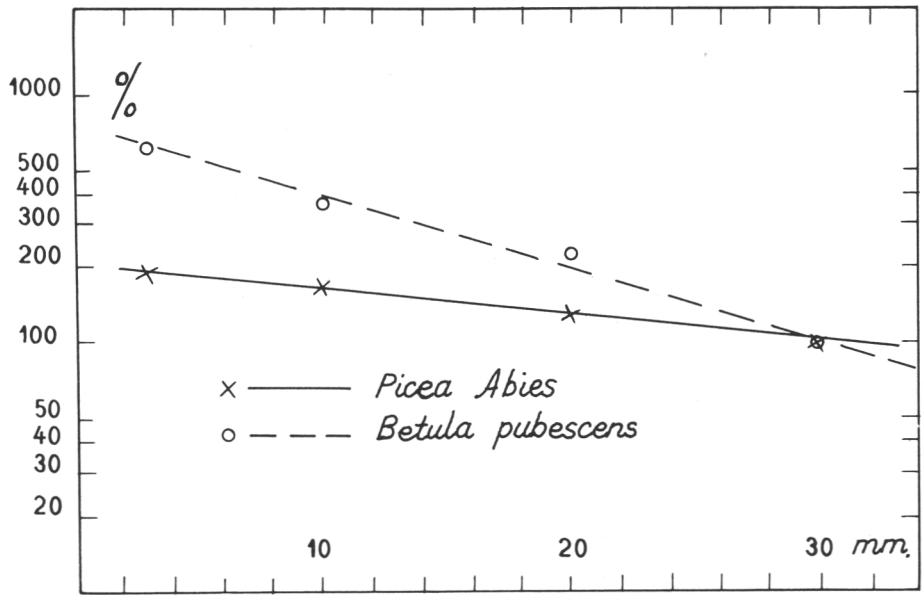


Fig. 12. Regression of measuring results of the pollen catch with globe samples on the globe diameter. The measured means ($\bar{x}_{2{\cdot}5}$, $\bar{x}_{10}$, and $\bar{x}_{20}$) are expressed as percentages of the mean measured with 30 mm. globe diameter ($\bar{x}_{30}$). Scale semilogarithmic.

spruce stand. In all, four globe diameters were used in the experiment. For each size, there were four replicates, and their locations were chosen at random. Fig. 12 shows the results as a graph drawn on semi-logarithmic paper. Counts were also made of *Betula pubescens*. The result of this study is also shown in Fig. 12, since a comparison between different tree species may be of the greatest interest.

Examination of Fig. 12 reveals that the result depends to a striking degree on the globe diameter, which makes it necessary always to transform the results so that they correspond to a specific globe diameter, when results obtained with globes of different sizes are compared. In comparing the different tree species it can be noted that there is no noteworthy difference between *Picea Abies* and *Pinus sylvestris* (cf. S a r v a s 1962, p. 41). *Betula pubescens*, on the other hand, differs very markedly from these two conifers. In both *Picea Abies* and *Pinus sylvestris* the pollen grains contain large air bubbles, which are lacking in *Betula pubescens*.

The number of globes required for obtaining a precise measure of the pollen catch has already been discussed in studies on the standard deviation of measurements, previously carried out (S a r v a s 1962, p. 42). As the value of the standard deviation is greatly dependent upon the level of the pollen catch, the available data are presented as the regression of the standard

deviation on the pollen catch. The scale employed is logarithmic, as it seemed possible to use linear levelling on a logarithmic scale. The levelling was carried out according to the method of least squares. The regression equation is $\log y = -0.7857 + 0.9665 \log x$.

The standard deviation must be considered high. For instance, with samples taken on open ground during the study of the effect of globe size, the standard deviation was 1.0 grains/sq.mm. when the mean pollen catch was 17.7 grains/sq. mm. This is only 37 % of the standard deviation of similar values of pollen catch when the samples were taken in stands. Obviously the main reason for such a high standard deviation is the great variation in pollen production between trees in stands; in other words, the same factor as causes the high standard deviation of the measurements of the male flower residue (cf. p. 10). However, the standard deviation of the pollen catch values is smaller, obviously due to the fact that the dispersibility of the pollen is greater than that of the male flower residue.

As the dispersion of the pollen catch values had previously been investigated by the same methods in stands of *Pinus sylvestris* (S a r v a s 1962, pp. 42—43), a comparison was possible between these two tree species, revealing that the standard deviation of the pollen catch in stands of *Picea Abies* is approximately half of that in stands of *Pinus sylvestris*. It is difficult to decide whether this is due only to the improvement in sampling technique or whether there are specific differences between these two species.

Table 4. *Picea Abies*. Total catch as measured by the globe samplers.

Location	Sample stand No.	Year	Period of exposure	Total catch grains per mm².
Tuusula	XXX	1953	15. V— 3. VI	69
Tuusula	XXX	1954	19. V—10. VI	170
Tuusula	XXX	1955	11. VI—17. VI	0
Tuusula	XXIX	1956	23. V— 8. VI	(331)
Tuusula	XXX	1956	23. V— 8. VI	257
Tuusula	XXX	1957	23. V— 7. VI	0
Tuusula	XXX	1958	31. V—20. VI	23
Tuusula	XXX	1959	14. V—13. VI	78
Vilppula	VIII	1959	15. V—30. V	93
Tuusula	XXX	1961	16. V—13. VI	89
Tuusula	XXIX	1962	25. V— 7. VI	(113)
Tuusula	XXX	1962	25. V— 7. VI	95
Bromarv	I	1963	18. V—27. V	2.5
Bromarv	I	1964	25. V— 8. VI	245
Punkaharju	LII	1965	28. V—12. VI	173
Bromarv	I	1966	30. V—12. VI	138
Punkaharju	LII	1966	23. V— 2. VI	21
Average				106.7

When the standard deviation of the pollen catch is known, it is possible to discover by the same methods as were used with respect to the male flower residue, the number of globes required for measuring the pollen catch with the accuracy required. The result of such an investigation reveals that about ten globes are required to keep the relative error of the results below 10 %. In the present investigation, 10 globes were usually used.

The pollen catch had been recorded since 1949 but only by 1953 had the measuring technique improved sufficiently to yield results that can be considered serviceable even today. The results of the measurements are presented in Table 4. Probably the most interesting figure in this table is the mean of all values: 106 grains/sq. mm. However, the principal significance of the values obtained is that they can be utilized in connection with the examination of several phenomena to be dealt with later.

Table 5. *Picea Abies*. Pollen catch and the amount of pollen production.

Location	Sample stand No.	Year	Pollen production g./m².	Total catch grains per mm².	Weather during flowering
Tuusula	XXX	1955	0.36	0	Rainy
Tuusula	XXX	1956	5.96	257	Fair
Tuusula	XXX	1957	0.37	0	Fair
Tuusula	XXX	1958	0.47	23	Fair
Vilppula	VIII	1959	4.49	93	Rainy
Tuusula	XXX	1961	3.07	89	Fair
Tuusula	XXIX	1962	7.76	(113)	Rainy
Tuusula	XXX	1962	4.55	95	Rainy
Bromarv	I	1963	0.81	2.5	Fair
Punkaharju	LII	1965	5.74	173	Fair
Punkaharju	LII	1966	1.44+	21	Fair

In this connection it is possible to compare the pollen catch with pollen production (Table 5). These are naturally not comparable in many respects, but it is evident that, particularly in large pure stands, there must be a positive correlation between them. Fig. 13 shows a scatter plot of data from those years of sampling during which anthesis took place without noteworthy disturbance by rains. The scatter plot was reduced to a straight line by the method of least squares. Owing to the small number of observations, the confidence belts for the regression line are fairly broad and every prediction of catch is, therefore, only possible within broad limits. The correlation coefficient between the pollen catch and pollen production is nevertheless high, $r = 0.977^{***}$.

Consequently, when pollen production is known, e.g. from the amount of male flower residue per sq.m., and anthesis has taken place during a dry spell, it is possible to estimate the pollen catch from the regression presented

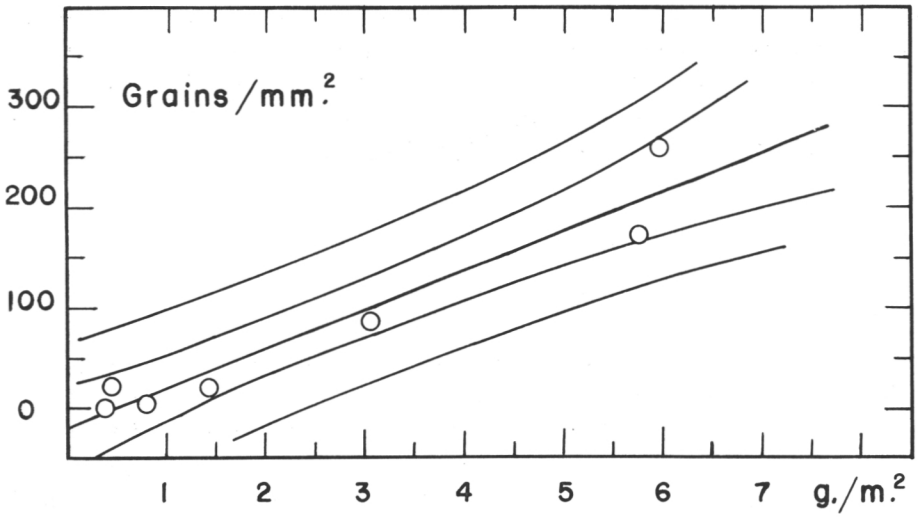


Fig. 13. *Picea Abies*, South-Finland. The regression of pollen catch, grains per mm.², on pollen production g. per m.² of growing area of the stand. The regression equation is $y = -19.93 + 39.48\ x$. The standard deviation from regression is 28.22 grains/mm.² The inner curves indicate the confidence belt of the regression line, the outher curves the confidence belt of a single prediction, at 95 % level of confidence. Scale arithmetic.

in Fig. 13. This possibility has also, in some cases, been utilized in the present study.

The regression presented in Fig. 13 also enables us to obtain an idea of the pollen production required for a given pollen catch. Hence we need a second regression line, the regression of pollen production on the pollen catch. The equation for this regression is $y = 0.643 + 0.0236\ x$. If a pollen catch of 200 grains per sq. mm. is required for satisfactory pollination of female cones, the average production must accordingly exceed 5.2 g./m². An average production of this magnitude is generally reached only when the dominant height of the stand is more than 28 m. (cf. Fig. 4, p. 12). Since the average peak crop is generally about 3—4 times as great as the average medium crop, in years of abundant male flowering the ovules are pollinated satisfactorily only in stands whose dominant height is 21 m. or more. This circumstance explains the difficulties that are usually encountered (and which must be expected to persist in the near future) in ensuring satisfactory pollination in forestry seed orchards. In southern Finland, for instance, *Picea Abies* stands growing on medium sites reach a dominant height of 21 meters in about 50 years. Considerable quantities of female cones are produced much earlier.

Fig. 13 further reveals that when it rained during the course of anthesis the pollen catch stayed below that suggested by the regression. In fact, the

main purpose of this regression line is to show the regression of potential pollen catch on the pollen production. Thus, when it rains during the course of anthesis the actual pollen catch fails to reach its potential. For example, in 1959 when it rained heavily during the course of anthesis, the actual pollen catch in Tuusula sample stand XXX was only 25 % of the potential one.

Female Flowering

As regards their abundance, the female strobili are more difficult to measure than the male flowers. Almost an entire year passes before the majority of the female strobili fall to the ground, and several years before all have fallen. During this time squirrels, too, tend to destroy a great many of the cones. For these reasons the cones falling to the ground are not suitable objects for measurement, especially when one wishes to separate and classify the female flowers on the basis of flowering years. The seeds shed in the seed traps offer one possibility of estimating the quantity of female strobili, but this method, too, involves possibilities for error, owing to the fact that insects and fungi destroy a large, but indeterminable proportion of the developing ovules. Maybe the most reliable method for quantitative investigation of the female strobili is an annual count from standing sample trees. However, even this method involves more difficulties than can be conceived by anyone unacquainted with the problem. Perhaps the greatest difficulty is caused by the fact that even in the same stands, very great differences exist between the numbers of female strobili in individual trees. In addition, it seems obvious that the distribution differs greatly from a normal distribution.

In each sample stand 30—60 sample trees were chosen at random, and all the female strobili on these trees were counted by climbing the tree in question or an adjacent tree. The counting of the strobili was carried out either at the time of flowering or one or two weeks later, at which times the strobili are usually easier to discover than later. The female strobili of *Picea Abies* are liable to be damaged by frost. The most severely damaged female strobili turn black soon after flowering, after which they are difficult to distinguish from strobili which have remained in the trees after having been earlier damaged by frost.

The results of these investigations are presented in Table 6. In all, there are series available from nine different sample stands only, each of which covers a 7—10-year period at least. Table 6 shows that the annual variation in the quantity of female strobili is great. This is a well known fact from many earlier investigations (e.g. H e i k i n h e i m o 1932, 1937, 1948,

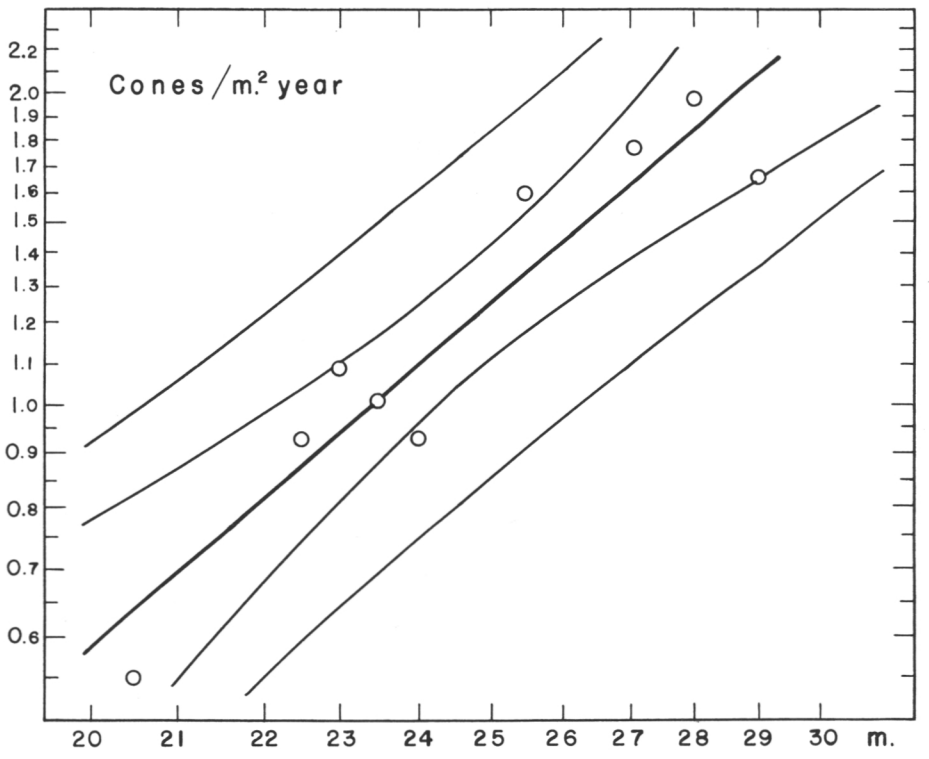


Fig. 14. *Picea Abies*, South-Finland. Regression of the annual mean number of female cones per m.² of the growing area on the dominant height of the stand. The regression equation is log y = —4.661 + 3.404 log x. Standard deviation from regression is 0.06440 cones/m.² The inner curves indicate the confidence belt of the regression line, the outher curves the confidence belt of a single prediction, at 95 % level of confidence. Scale logarithmic.

Table 6. *Picea Abies*. Results of female cone counts. Dominant height and number of stems refer to the mean of the measuring period.

Location	Sample plot No.	Dominant height m.	Number of stems per/ha	Flowering year										Average	Per m².
				1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968		
				Female cones per tree											
Jomala	II	23.0	208				98.1	10.0	119.8	0.3	18.6	115.0	4.3	52.3	1.09
Bromarv	I	28.0	309				28.3	0.0	73.9	124.6	86.4	130.0	3.7	63.8	1.97
Tuusula	XXX	24.0	341	12.3	13.2	24.3	20.9	0.0	78.4	3.9	2.3	118.0	0.7	27.4	0.93
Padasjoki ...	III	27.1	420	13.0	54.2	4.9	12.8	0.7	102.0	14.3	3.0	215.7	1.2	42.2	1.77
Padasjoki ...	IV	29.0	332	16.4	66.8	28.7	14.4	0.0	128.1	18.5	2.9	232.0	1.5	50.1	1.66
Punkaharju .	LII	22.5	408	6.3	36.9	12.8	7.1	0.0	0.8	64.4	3.9	96.5	2.0	23.1	0.94
Siilinjärvi ...	544	20.5	408		28.3	·	0.6	0.0	8.7	59.5	0.0	10.0	0.1	13.4	0.55
Vilppula	VIII	23.5	276	10.0	67.5	21.9	2.8	0.0	12.7	115.5	1.5	123.0	9.6	36.5	1.01
Vilppula	XVII	25.5	420	8.1	54.0	16.0	2.0	2.0	74.0	51.7	1.4	168.5	3.8	38.2	1.60

Tirén 1935, Sarvas 1957, and Hagner 1965a). Noticaeble differences can also be observed between the stands. The differences between the stands were studied from the regression of the quantity of female strobili (calculated per sq. m. of the site) on the dominant height of the stand. This is presented as a graph in Fig. 14, and reveals that the annual mean number of female strobili increases greatly with an increase in dominant height.

Pollination

Pollination Mechanism

In the following context, pollination refers to the adherence of pollen grains to the mouth of the micropyle tube, and their passage from there to the tip of the nucellus. Pollination is a sort of synthesis of anthesis and female flowering and hence merits examination separately.

The pollination of the ovules in *Picea Abies* is in many respects the same as in *Pinus sylvestris*, which has earlier been described in detail (S a r v a s 1962, pp. 57—82). Principally because of this, only the features specific to *Picea Abies* are given attention in the following.

The proper starting point is perhaps the fact that the female strobilus of *Picea Abies*, like that of *Pinus sylvestris*, is well-protected from rain, although the protection is provided in a different way. Such protection is in fact a problem, because any protection against rain is likely to hinder free access of pollen to the mouth of the micropyle of the ovule. The difficulty of providing protection without hindering the free passage of pollen grains has been brought home to us convincingly, for instance, in our continual attempts, during the course of the past 15 years, to construct a shelter for the globe samplers. And for this very reason we are interested in how evolution has solved this problem in different forest trees.

In *Pinus sylvestris* the fissures between the shielding cone scales are, even in receptive cones, narrow enough to prevent water from entering because of its surface tension. In *Picea Abies* the shielding scales of the female cone are imbricate, thus protecting the fissures between them from rain. At their base, however, the scales are curved downwards, thus leading the pollen grains caught between them to the mouth of the ovules at the scale base.

The micropyle of *Picea Abies* is rather similar to that of *Pinus sylvestris*, but the lobes at the mouth of the micropyle tube are longer.

The passage of pollen grains down the micropyle tube to the tip of the nucellus takes place with the aid of a pollination drop. The function of the pollination drop was studied in the spring of 1954 and 1956 in sample stand XXX at Tuusula. In *Picea Abies*, as in *Pinus sylvestris*, the pollination drops, under normal conditions, are encountered only in the nighttime. In the

spring of 1956, when night frosts occurred during the receptivity period, it could be observed that even when, as happened in several cases, female strobili escaped apparent damage from the night frosts, continuing their development in the normal way, the drop system was damaged. After the receptivity stage, it could be observed that in many female strobili much pollen had accumulated at the mouth of the micropyle of the ovules while, at the same time, the pollen chambers were empty, Also, in general, the number of pollen grains in the pollen chambers ceased to increase after the first night of frost; hence, only those trees that were quite advanced in development could be fairly well pollinated.

However, at pollination it is not only pollen grains that are transported into the pollen chamber. In the present investigation it was noted that *Plemeliella abietina* Seitn. lays its eggs between the cone scales of *Picea Abies*, from where the eggs roll to the mouth of the micropyle of the ovules. From this point the pollination drop transports them into the pollen chamber (there is hardly room for more than two eggs in a pollen chamber). In addition, it was established that in ovules containing one or more eggs of *Plemeliella abietina*, the pollen grains in the pollen chamber do not germinate.

Quantities of Pollen Received by the Ovules

The quantities of pollen received by the ovules were studied in random samples of female strobili collected from the sample stands toward the end

Table 7. *Picea Abies*. The quantities of pollen in ovules.

Total catch pollen per mm².	Total of ovules examined	Number of grains in ovules: 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11—15	16—20	21—25	26—30	31—35	36—40	41+	Average
		Number of ovules																		
		Tuusula XXX, studied May 17—22, 1959																		
78	138	0	0	1	2	4	1	0	4	10	7	4	26	21	21	16	10	7	2	19.2
		Tuusula XXX, studied May 28—30, 1961																		
89	1 196	93	93	121	104	100	96	118	87	88	64	54	142	33	4	1	—	—	—	5.95
		Tuusula XXX, studied June 3—4, 1962																		
95	532	—	9	17	12	19	19	20	29	38	24	26	138	91	49	24	13	2	2	16.0
		Bromarv I, studied May 25, 1963																		
2.5	586	325	142	54	30	14	15	1	2	2	0	0	1	—	—	—	—	—	—	0.89
		Bromarv I, studied June 1—3, 1964																		
245	663	3	2	2	4	5	13	5	7	12	9	9	111		181		162		138	29.5
		Bromarv I, studied May 30—June 12, 1966																		
138	992	7	8	15	38	25	37	22	31	35	42	49	198	158	112	85	58	33	39	17.1

of anthesis. From the samples, the number of pollen grains lodged at the mouth of the micropyle and in the pollen chamber were counted, under a dissecting microscope. Investigations of this kind were made in 1959—62 on sample stand XXX at Tuusula and in 1963—1964 on sample stand I at Bromarv. The results are given in Table 7.

Examination of the results reveals that the amounts of pollen received by the ovules were generally quite large, except in the year 1962, when flowering in *Picea Abies* in the stand under investigation was very scanty (the total pollen catch only 2.5 grains/sq.mm.). The greatest quantities were measured in the spring of 1964, when flowering of *Picea Abies* in the sample stand at Bromarv, for example, reached maximum abundance. On that occasion the percentage of ovules which had caught more than 10 grains rose to 89. The greatest number of pollen grains counted from a single ovuler exceeded 100.

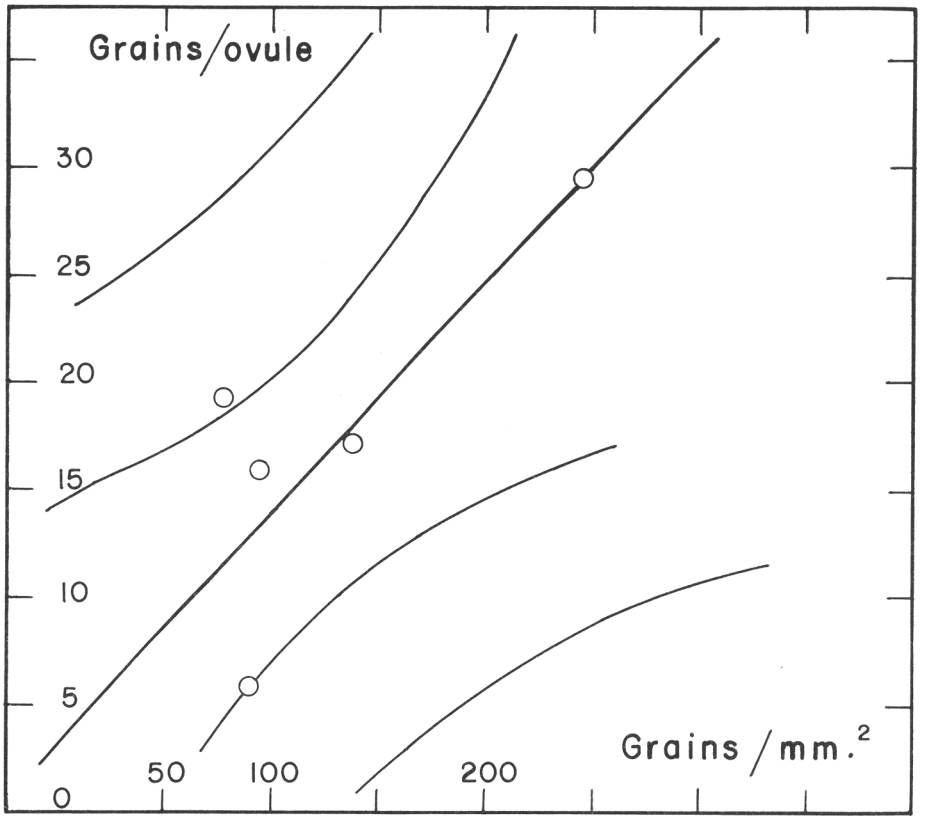


Fig. 15. *Picea Abies*, South-Finland. Regression of the mean number of pollen grains caught by the ovules on the pollen catch, grains/mm.² The equation of the regression line is $y = 3.14 + 0.108\ x$. The standard deviation from regression is 5.68. The inner curves indicate the confidence belt of the regression line, the outher lines the confidence belt of a single prediction, at 95 % confidence level. Scale arithmetic.

The great differences which can be observed in different years are evidently primarily due to the great differences in the pollen catch in different years of investigation. This is brought out more clearly in Table 8 and Fig. 15, which shows the regression of the quantities of pollen received by the ovules on the total catch as a scatter plot which has been levelled on a straight line, according to the method of least squares.

Table 8. *Picea Abies*. The average amounts of pollen received by the ovules and the total catch.

Location	Sample stand	Year	Total catch grains per mm².	Average grains per ovule
Tuusula	XXX	1959	78	19.2
Tuusula	XXX	1961	89	5.95
Tuusula	XXX	1962	95	16.0
Bromarv	I	1963	2.5	0.89
Bromarv	I	1964	245	29.5
Bromarv	I	1966	138	17.1

Comparison of these values with the results obtained for *Pinus sylvestris*, which was earlier the object of a similar study (S a r v a s 1962, p. 73), is of great interest. The regression line for *Picea Abies* rises much more steeply (k=0,108) than that for *Pinus sylvestris* (k=0,026). This indicates that as organs for the transmission of pollen grains to the ovules, the female strobili of *Picea Abies* are about 4 times as effective as the female strobili of *Pinus sylvestris*. This is evidently due to the fact that the pollencatching surface in *Picea Abies* is much larger per ovule than in *Pinus sylvestris*.

The frequency distribution of ovules which have received different amounts of pollen differs greatly from expectation based on a random (e.g., the Poisson) distribution. This is probably because of the more or less constant wind direction during anthesis. Since the question has already been the object of detailed examination in regard to *Pinus sylvestris* (S a r v a s 1962, pp. 66—74), and since *Picea Abies* does not seem to differ significantly, we only refer in this connection to the earlier investigation.

Quantities of Pollen in Pollen Chambers

The quantities of pollen in the chambers were studied from microscope slides prepared from female strobili taken at random from the sample stands about two weeks after anthesis was over. Permanent slides were prepared from the ovules and stained with gentian violet. The thickness of the sections

was 10 μ. For each ovule, a series of 15—20 sections was studied. The results of these studies are presented in Table 9.

From Table 9, it can be seen at first glance that the amounts of pollen in the pollen chambers are much smaller than the total amounts of pollen received by the ovules, a problem dealt with in the preceding section. Here we see the same phenomenon as was noted previously in connection with the study of pollination in *Pinus sylvestris:* the limited volume of the pollen chamber restricts the number of pollen grains entering.

Table 9. *Picea Abies.* Number of pollen grains in pollen chambers.

Total catch grains/ mm².	Total of ovules examined	Number of grains in pollen chambers												Aver-age
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		Number of ovules													
		Tuusula XXIX, fixed 19. 6. 1961													
~100	84	—	7	17	20	22	14	3	1	—	—	—	—	—	(3.26)
		Tuusula XXX, fixed 2. 6. 1961													
90	211	11	24	42	78	39	15	2	—	—	—	—	—	—	(2.77)
		Tuusula XXX, fixed 7. 7. 1962													
95	261	5	13	28	41	38	43	23	26	22	14	4	3	1	4.85
		Bromarv I, fixed 31. 5. 1963													
2.5	149	115	24	9	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.320
		Bromarv I, fixed 15. 6. 1964													
245	467	16	31	27	51	71	65	67	139						4.90

The limited volume of the pollen chamber has important genetic consequences with respect to gene exchange: when pollination is abundant, only the first grains to reach the ovule can enter the pollen chamber and take part in fertilization. Accordingly, due to this circumstance the mating system is strongly negative assortitave (cf. F a l c o n e r 1964, p. 22) favoring early pollinators and disfavoring late pollinators. The early pollinators are genotypes of short annual period and the late pollinators genotypes with long annual period (cf. S a r v a s 1967). Another consequence is, that the effect of self-pollination is strongly reduced.

For these and for many other reasons, the size of the pollen chamber deserves particular attention. The 1964 flowering in sample stand I at Bromarv presents, thanks to exceptionally abundant male flowering (and a high total pollen catch), a particularly good opportunity to calculate the volume of the pollen chamber. The calculations were carried out in the same manner as previously for *Pinus sylvestris* (S a r v a s 1962, pp. 77—78).

The result is presented in Fig. 16 in the form of a graph on frequency paper. The graph reveals that the volume of the pollen chambers, measured with pollen of *Picea Abies*, is 5.1 grains on the average, and that the frequency distribution is approximately normal; the standard deviation is relatively large, 2.8 grains. Owing to the considerable standard deviation, in about 3 % of pollen chambers there is not room for a single grain, while in about 4 % of pollen chambers there is enough room for more than 10 grains. A similar calculation was made in 1962 on the basis of material collected from sample stand XXX at Tuusula. This calculation gave 5.3 grains as the average volume of the pollen chamber.

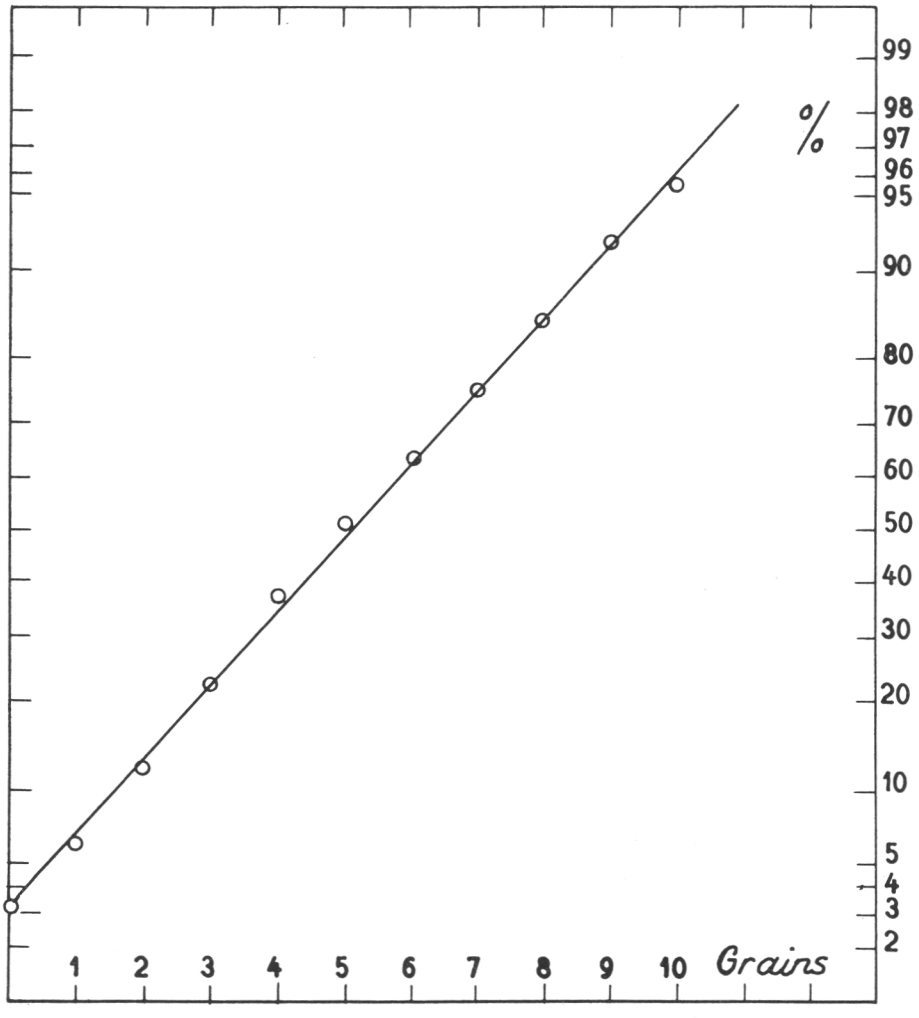


Fig. 16. *Picea Abies*, South-Finland. Cumulative frequency distribution of the volumes of pollen chambers, in terms of pollen grains as the volume unit. The mean, $\bar{x} = 5.1$ grains.

In this connection it is still interesting to notice that in 1964, when male flowering was very abundant (the pollen catch 245 grains/sq.mm. and the average number of grains at the mouth of the micropyle of the ovules 29.5), the average number of pollen grains in the pollen chambers reached 4.90 in sample stand I at Bromarv, or almost the highest amount possible: 5.2 grains. Perhaps even more interesting is the fact that the same value, 4.85 grains per pollen chamber on an average, was observed in sample stand XXX at Tuusula in 1962 after much poorer male flowering (pollen catch 95 grains/sq.mm. and at the mouth of the micropyle of the ovules 16.0 grains on the average).

However, knowledge of the average numbers of pollen grains in the pollen chambers is not sufficient when a precise notion of the probability of pollination of the ovules is required. Detailed information is needed on the distribution of ovules which have received 1, 2, 3, etc., grains respectively at different values of the pollen catch. An exact investigation of this question, however, presents great difficulties, because the amounts of pollen entering the pollen chambers is dependent not only upon the pollen catch, but also upon the weather conditions during the flowering period, especially the wind. If the wind direction during the principal period of anthesis remains unchanged, the numbers of pollen grains entering the pollen chambers are noticeably smaller than when changes in the wind direction occur during this period. For this reason it has been possible to investigate this matter only very approximately in the present study, at least on the basis

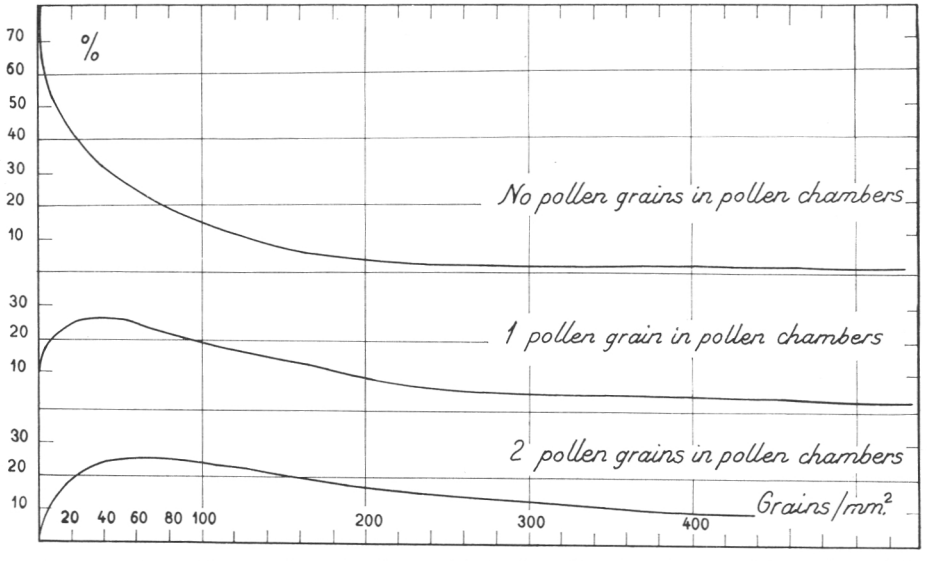


Fig. 17. *Picea Abies*. Number of pollen grains in the pollen chambers, and the pollen catch.

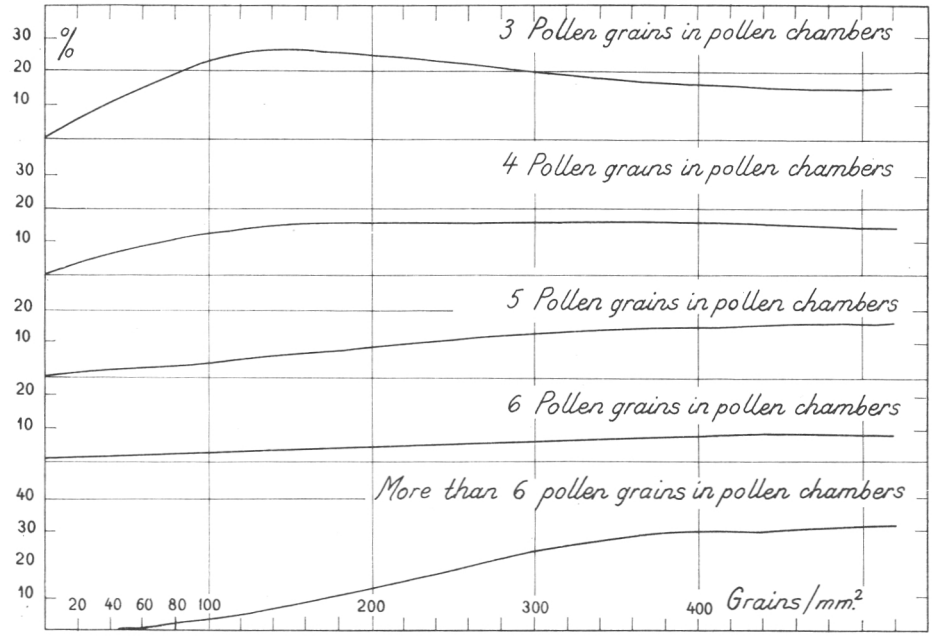


Fig. 18. Continution of Fig. 17.

of the data so far collected. Figs. 17 and 18 show the result of very approximate freehand curves drawn on the basis of the data available. In spite of its deficiencies, it probably affords a rough idea of the approximate distribution of the pollen grains in the pollen chambers at varying levels of pollen catch.

In the study of the distribution of pollen in the pollen chambers, both the chambers completely without pollen and those which have received only one pollen grain merit particular attention. When the results obtained by measurement of the pollen catch were discussed above (Table 4), it could be observed that in *Picea Abies* about 100 grains/sq.mm. represents the average. On closer examination of Fig. 17, it can be seen that when the pollen catch is 100 grains/sq.mm., about 15 % of the ovules fail to be pollinated at all and about 20 % catch only one pollen grain. This fact has a certain genetic significance which will be discussed later. However, there is reason to observe at this point that even with a medium pollen catch, when the amount of pollen is in fact considerable, the result of pollination is not very good. Here the great shortcomings of wind pollination are exposed. As has been previously explained in more detail (S a r v a s 1962, pp. 69—71), the greatest hazard is not rain, as is often assumed, but the fact that pollination, far from being »random», is extremely »biassed» on account of the fact that the prevailing wind comes largely from one direction only. On one side

of the female strobilus the number of pollen grains received by the ovules may be as high as 20—30 grains per ovule, while on the other side virtually all the ovules may remain unpollinated.

Germination of Pollen

Having reached the tip of the nucellus, the pollen germinates within a few days (cf. also M i y a k e 1903 a, p. 354). However, no exact investigations of the time-table of the germination process have been made.

From the scattered observations available, it appears that germination occurs on average, e.g. in sample stand I at Bromarv, at a temperature sum of about 220 d.d., the standard deviation being about 15 d.d.

The viability of pollen was studied in random samples taken from female strobili in the sample stands in the course of 2—4 weeks. Permanent slides of the ovules were prepared, and the viability of the pollen grains was studied in their natural habitat, the tip of the nucellus.

The germinative capacity of the pollen samples is shown in Table 10. It is seen that germination was usually high, often exceeding 90 %. Those pollen grains for which there was not enough room on the tip of the nucellus remained in the upper part of pollen chamber, where the micropyle tube is

Table 10. *Picea Abies*. The germination of pollen in pollen chambers.

Location	Sample plot	Year	Date of fixation	Total of grains	Percentage of germination	On the nucellus only
Tuusula	XXIX	1961	19. VI	396	90.1 [1]	99.5
Tuusula	XXX	1961	2. VI	598	65.5	98.5
Tuusula	XXX	1962	7. VII	1 266	85.6	98.5
Bromarv	I	1963	1. VI	36	94.1	98.5
Bromarv	I	1964	15. VI	2 172	91.4	98.5

[1]) The pollen probably still partly ungerminated due to a short germination period.

located, and did not germinate so well as those resting on the tip of the nucellus. When the germination percentage is calculated only for the grains on the tip of the nucellus, values approaching 100 (99.5, 98.5) are obtained.

The germination percentages reported here are from sample stands in southern Finland. It is quite possible that the germinative capacity is lower in northern Finland, where the development of the pollen grains in *Picea Abies* takes place in many respects under extreme conditions. A n d e r s s o n's (1954) investigations, among others, suggest that this is the case.

As the germinative capacity of the pollen is here under discussion, there is reason to recall the observation that in ovules containing one or several

(usually not more than two) eggs of *Plemeliella abietina*, the pollen does not germinate.

The high germinative capacity of the pollen brings us back to the good protection of the female strobili from rain. For example, in the spring of 1962, rains interrupted anthesis several times in sample stand XXX at Tuusula, and it might have been expected that part of the pollen would have lost its viability due to dampness, either before reaching the female strobili or afterwards; however, nothing of the kind was observed.

Development of the Ovule

Pre-syngamic Development

Characteristic of the development of the ovule in *Picea Abies* — especially in comparison with *Pinus sylvestris* — is its great rapidity. With respect to cytologically important and interesting details in the development of the ovule and the germinating pollen, reference may be made to the papers of Miyake (1903 a and b) and Håkansson (1956). Megaspore mother cell division usually occurs before the female strobili become receptive. At latest, however, such division may be simultaneous with female receptivity. Thus pollination cannot have any influence on the division of the mother cell. The size of the pollen chamber has already been discussed. In years of abundant male flowering and consequently high pollen catch, the pollen chambers contain ample pollen, the average being as many as 3—5 grains per ovule. As the germinative capacity of the pollen is generally high, the numerous pollen tubes — which in *Picea Abies* are not ramified as in *Pinus sylvestris*, for instance — almost fill up the tip of the nucellus, destroying it.

The initials of the archegonia can already be seen a fortnight after pollination. The number of archegonia deserves particular attention, because this is one of the starting points from which to estimate the degree of polyzygotic polyembryony as well as the possibilities — based upon it — for the tree to eliminate, by means of intraovular competition, the embryos which are homozygous with respect to recessive sublethal genes.

The archegonia of *Picea Abies* are more difficult to handle than those of *Pinus sylvestris*. In the latter species, the archegonia can be distinguished about a week before syngamy, and under a dissecting microscope, we can at least arrive at the approximate number of archegonia present in the fresh material. This is hardly possible in *Picea Abies*. However, a rough idea can be obtained after keeping the ovules for one minute in lactophenol, at +70° C, when upon microscopic examination of preparations of the prothallia, the archegonia appear as dark shuttles in the light which penetrates the preparation. An exact count, however, requires permanent slides. In this investigation the numbers of archegonia were estimated in random samples of female strobili collected from the sample stands 2—3 weeks after flowering; slides were prepared from the ovules and studied under a microscope. Count-

ing of the archegonia was particularly easy in transverse sections cut from the tip of the ovules. The results of the investigations of the number of archegonia are compiled in Table 11.

Table 11. *Picea Abies*, South-Finland. The number of archegonia.

Location	Sample plot No.	Year	Ovules	Archegonia							Average
				1	2	3	4	5	6	7	
				Ovules, %							
Tuusula	XXIX	1961	115	0.1	9.6	42.6	37.4	8.7	1.7	0.0	3.09 ± 0.0805
Tuusula	I	1961	117	0.9	12.0	66.6	20.5	0.0	0.0	0.0	3.02 ± 0.0658
Tuusula	XXIX	1962	76	0.0	17.1	48.6	30.0	4.0	0.0	0.0	3.21 ± 0.0891
Tuusula	XXX	1962	100	0.0	7.0	58.0	29.0	5.0	0.0	1.0	3.36 ± 0.0772
Tuusula	XVIb	1962	142	2.8	30.0	57.0	9.9	0.0	0.0	0.3	2.78 ± 0.0631
Tammisaari .... rural commun	—	1963	210	0.0	2.4	29.5	51.0	15.7	1.4	0.0	2.90 ± 0.0512

On closer scrutiny of the results, one can first observe that the average values for the numbers of archegonia ranged from year to year and stand to stand between 2.8 and 3.4. The scantiness of the material seems to preclude any assessment of variation. But as regards the significance of site fertility, some idea can be obtained. Of the stands investigated, Tuusula XVI b is located on the poorest site. It is followed by the stand in Tammisaari rural commune, Tuusula I, and last — about equal to their fertility — Tuusula XXIX and Tuusula XXX. The average numbers of archegonia conform rather well to this ranking of sites on the basis of fertility. The mean number of archegonia was 3.06. The distribution of ovules according to the numbers of archegonia is almost normal, and the standard deviation about 1.0 archegonia.

Concerning the number of archegonia, previous information has been published by Strasburger (1869), Miyake (1903a), and Håkansson (1956). The fullest data are given in Miyake's paper. His material was collected from trees in the vicinity of Cornell University. From his data we can calculate that the average number of archegonia was about 4 per ovule, with a standard deviation of about 1.0. Miyake's value is thus higher than that found in the present investigation. According to Miyake (1903 a, p. 358), »This agrees in the main with the observation of Strasburger (69), who found three to five archegonia in each ovule of *Picea excelsa*». Håkansson mentions that in his material the number of archegonia — with some exceptions — was about the same as in Miyake's. The smaller number of archegonia found in the present investigation, in comparison with previous measurements, may be due to the fact that the material was collected further north, and from closed stands.

In connection with the previous studies of *Pinus sylvestris*, an interesting question arose: is the number of archegonia correlated to the number of germinated pollen grains in the pollen chamber, and, hence, to the abundance of pollination? The small number of archegonia in *Pinus sylvestris*, however, made it impossible to reach a conclusion. *Picea Abies*, thanks to its larger pollen chambers and more numerous archegonia, form a more favorable object for this sort of investigation. The question was studied on the basis of material collected in 1961 in sample stand XXIX at Tuusula.

The results of the microscopic investigations are compiled in Table 12. The correlation between the number of archegonia and the number of pollen grains in the pollen chambers is very low, $r = 0.0731$, and is not significant ($P \sim 0.45$). Thus, in the material examined, no significant correlation was found between the number of archegonia and the number of germinated pollen grains counted in the pollen chambers.

Table 12. *Picea Abies*. The correlation between the number of archegonia and the number of germinated pollen grains in the pollen chamber. The material is fixed 19. 6. 1961 from sample stand XXIX at Tuusula. $r = 0.07310$; degrees of freedom 113; $t = 0.7783$.

Archegonia	Pollen grains in the pollen chamber								Total
	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Ovules								
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	1	2	2	4	1	1	—	11
3	—	4	6	11	21	6	1	—	49
4	3	1	6	10	21	2	—	—	43
5	1	—	1	1	6	1	—	—	10
6	—	—	—	1	—	—	—	—	1
7	—	—	—	1	—	—	—	—	1
Total	4	6	15	26	52	10	2	—	115

In this connection there is still reason to compare the average number of pollen grains which find room in the pollen chambers with the average number of archegonia. It was previously calculated that in the material investigated there is room for 5.2 pollen grains on an average in the pollen chamber of *Picea Abies*; now it has been estimated that the average number of archegonia in closed stands is 3.06 per ovule. When pollination is abundant, there is consequently more pollen in average in the pollen chambers than there are archegonia to be fertilized in the ovule. Of course, such a comparison is rather superficial.

Let us assume that one of the most important functions of the polyarchegonium system, perhaps even the most important, is to eliminate, by

means of competition between the embryos in the embryo cavity, those embryos which are homozygous in respect to sublethal and defective genes. It is evident that two embryos, i.e. two fertilized archegonia, will perform this function almost as effectively as three or a great number. Now the question arises: just how effective is the system in *Picea Abies*?

In the material from southern Finland under investigation, about 6 % of the ovules have room for less than two pollen grains, and about 0.6 % contain only one archegonium. Mainly as a consequence of this even when pollination is abundant about 5 % of ovules (cf. Fig. 17) have less than two pollen grains in the pollen chamber. Accordingly we arrive at the conclusion that in 95 % of the developing ovules there are possibilities for the formation of two embryos. If the size of the pollen chamber were smaller, if there were not room for more than, for instance, 4 pollen grains in it (with the same standard deviation as above), there would be possibilities for the formation of two embryos in about 85 % of the ovules. These examples indicate that the polyarchegonium system in *Picea Abies* is rather effective without being overeffective.

In the final stage of development of the archegonium, a large egg nucleus of elliptical shape (which is difficult to stain) becomes visible. When the egg nucleus has matured to the point at which it is capable of being fertilized, the first important phase in the development of the ovule has ended.

During this phase the ovule has grown considerably, attaining almost its final size. This is important to note, because it means that abnormally small seed can only be due to the influence of detrimental factors during presyngamic development.

Syngamy

Syngamy, that is, the fusion of the fertilizing nucleus with the egg nucleus, marks the formation of a new individual. For this reason it will be given special consideration in the present investigation.

Syngamy in *Picea Abies*, in the sample stands in southern Finland, generally took place about July 1. This alone, however, does not give much information on the time-table of syngamy. Detailed data are needed for a study of the many questions that arise. To begin with, it is obvious that the calendar date forms a poor reference point, for the time-table of syngamy is highly dependent on the weather conditions during the first part of the summer, particularly the temperature conditions. Because of this, we have used the temperature sum in the time-table study, as was also done in the study of the progress of other cardinal events during the growing season (cf. anthesis).

For the determination of the course of syngamy in *Picea Abies*, random samples were taken from the female strobili in sample stand I at Bromarv at intervals of about 20 d.d. (degree days) between June 28 and July 8. From the ovules sections 10 μ thick were cut and stained with gentian violet. In this way each ovule prepared gave a series of 10—15 sections, which were examined under the microscope. For the purpose in question, it was only necessary to ascertain whether syngamy had or had not taken place in the ovules under observation. When there were several archegonia in one ovule, as was mostly the case, the ovule was considered fertilized if syngamy had taken place in at least one archegonium. Table 13, which summarizes the results of this investigation, reveals that in different individual trees syngamy took place at rather different temperature sums. The lowest line of the table gives a rough idea of how early syngamy takes place in the trees; the smaller the number of minus signs compared with plus signs, the earlier the tree, and vice versa. The column on the extreme right shows the progress of syngamy. The 50 % level was reached between July 2 and 4 or,

Table 13. *Picea Abies*. Observations on the timetable of syngamy. Symbol —: syngamy has not taken place yet, symbol +: syngamy has taken place. Bromarv, sample stand I.

Date	d.d.	Number of sample tree																				Total		+ %
		18		52		92		145		149		157		202		253		254		292				
		—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	
		Ovules																						
28. 6.	360	3	2	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	48	2	4.0
30. 6.	378	1	4	5	0	4	1	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	45	5	10.0
2. 7.	395	0	5	5	0	0	5	5	0	5	0	3	2	5	0	2	3	3	2	3	2	31	19	38.0
4. 7.	412	0	5	5	0	1	4	2	3	2	3	0	5	3	2	2	3	0	5	3	2	18	32	64.0
6. 7.	429	0	5	1	4	0	5	0	5	0	5	0	5	2	3	0	5	1	4	0	5	4	46	92.0
8. 7.	444	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	1	4	0	5	0	5	0	5	1	49	98.0
Total		4	26	21	9	10	20	17	13	17	13	13	17	21	9	14	16	14	16	16	14	147	153	

expressed in terms of temperature sums, between 395 and 412 d.d. A still better idea of the time-table of syngamy can be obtained by plotting the data on frequency paper (Fig. 19).

Note the similarity of the graph of temperature sums of syngamy to the graph of the distribution of the temperature sums of the pollen catch; both take the form of a straight line approaching the normal distribution when the temperature sums are measured at the level of the canopy. The results can obviously be interpreted on the basis of the same working hypothesis and the same research techniques as were employed in investigations of anthesis. However, it should be emphasized here, as also in connection with the studies on anthesis, that this result was obtained in a year in which

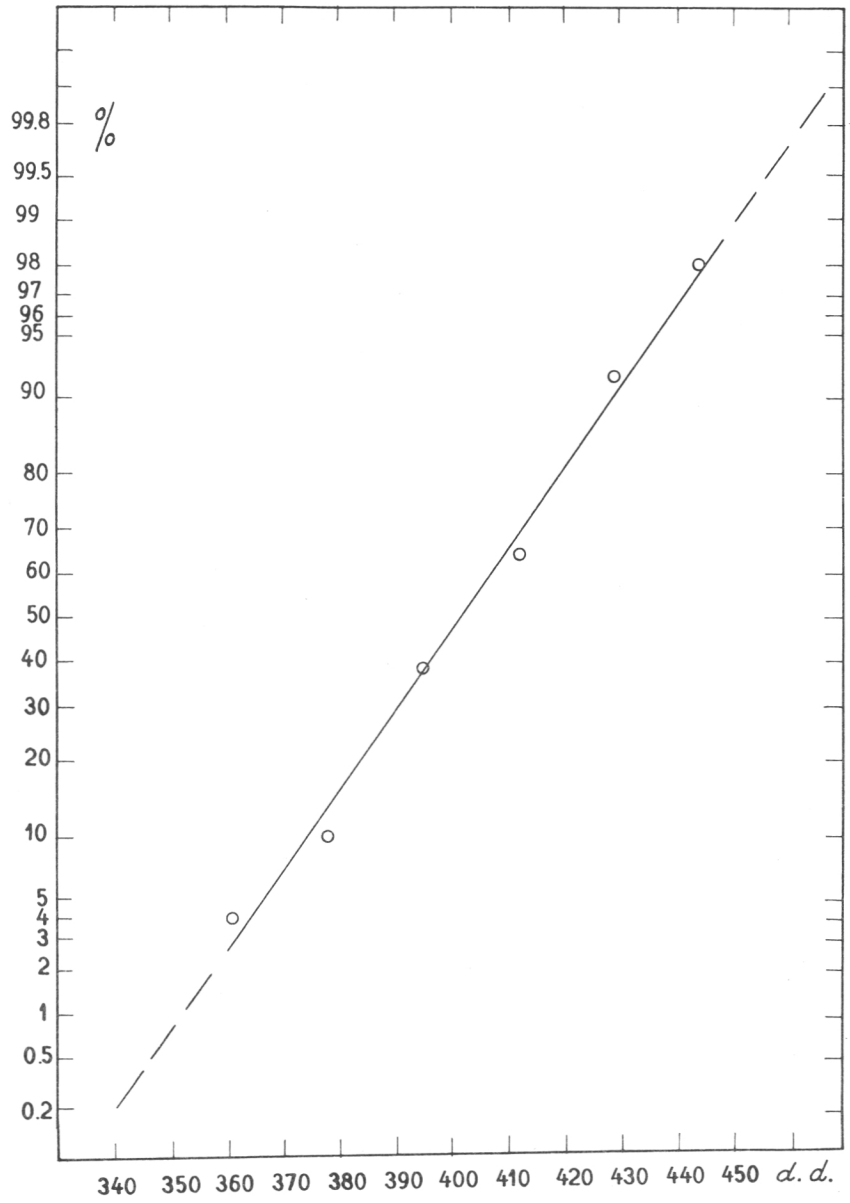


Fig. 19. *Picea Abies*, Bromarv I, 1964. Cumulative frequency distribution of temperature sums of syngamy. The mean, $\bar{x} = 401$ d.d.

there was abundant female flowering in the sample stand. When female flowering is less abundant, the results are more complicated.

According to Fig. 19, the average temperature sum of syngamy in sample stand I at Bromarv is 401 d.d. and the standard deviation 21 d.d. Some

conception of the meaning of the standard deviation in terms of calendar time is obtained when it is recalled that one normal summer day adds about 10 d.d. to the temperature sum in southern Finland. The difference in time between the first and last syngamies is thus about 13 days, or two weeks, expressed in terms of such summer days. When female flowering is scanty, however, the difference is usually smaller, sometimes even as little as 1—2 days.

One of the most fundamental questions arising in connection with syngamy is what types of compatibility barriers exist. These can be most appropriately divided into three main groups: barriers occurring before, during, and after syngamy. For the study of these barriers, random samples of ovules were collected from the sample stands immediately after syngamy was completed. From these ovules sections 10 μ thick were prepared as permanent slides and stained with gentian violet. From each ovule a series of 10—15 sections was studied with the intention of clarifying the situation in the archegonia. The following stages of development were distinguished: 1. symbol 0: the archegonium was without a pollen tube, obviously because there were fewer pollen grains in the pollen chamber than archegonia in the ovule. In ovules of this kind the prothallium is always more or less withered. This is easy to distinguish in consecutive sections of the same prothallium. It is often still possible to count the pollen grains in the pollen chamber at this stage, 2. symbol α: syngamy, 3. symbol β: the zygote has not divided (it is not always possible to determine whether syngamy has taken place or not, for a sperm nucleus that has not fused with the egg nucleus tends to be overlooked, especially as other nuclei are also transferred through the pollen tube into the archegonium). The following indications serve to show that the stage of development of normal syngamy has been passed: absence of a pollination vacuole, some degree of degeneration of the archegonium, increasing sharpening of the contours of the embryo cavity, and accumulation of starch in the cells of the endosperm, 4. symbol γ: the egg cell has divided, and the four free nuclei resulting from two consecutive divisions are moving towards or have already reached the distal end of the archegonium, 5. symbol $\gamma +$: the two following divisions have taken place, and the proembryo composed of 16 cells has been formed, 6. symbol ς: the suspensor cells of the proembryo have elongated and protruded the tip cells into the embryo cavity, 7. symbol $\varsigma +$: the tip cells have divided.

The compatibility barriers which might occur before syngamy were studied by comparison of the number of germinated pollen grains in the pollen chamber with the number of fertilized archegonia. The material collected from Kuorevesi, the vicinity of the sample plot No. XXXV, in 1963 with very scanty pollination, was particularly well suited for an investigation of this kind. The material consisted of 214 ovules in all, 32 of which

had been pollinated. Only four pollen chambers contained two pollen grains; in the rest, there was only one grain per chamber. In all ovules the number of archegonia in the ovules exceeded that of pollen grains in the pollen chamber. In all, 36 archegonia had been reached by a pollen tube and 33 archegonia were fertilized. This material, in which, for example, the possibility of self-pollination was obvious, thus did not reveal any significant pre-syngamic compatibility barriers.

The question was also examined from another standpoint. When the pollen catch is known, it is possible to estimate from the graphs in Figs. 17 and 18 how much pollen reaches the pollen chambers, and furthermore to calculate the number of archegonia which would have received a pollen tube if no such barriers had existed. Table 14 presents two calculations of this

Table 14. *Picea Abies*. Calculation of the percentage of archegonia penetrated by pollen tubes.

Archegonia	Archegonia penetrated by pollen tubes (Ovules)						Ovules	Archegonia			Calculated
	0	1	2	3	4	5		Total	Penetrated by pollen tubes	% of calculated	
	Bromarv I, fixed 4.—8. VII 1964. Pollen catch 245 grains/mm².										
1							—	—			—
2	5	4	50				59	118	104	98	106.2
3	8	9	23	33			73	219	154	81	190.6
4			4	2	6		12	48	38	100	37.5
5					1	1	2	10	9	130	6.9
Total	13	13	77	35	7	1	146	395	305	90	341.2
	Tuusula XXX, fixed 2.—5. VII 1964. Pollen catch 200 grains/mm².										
1		1					1	1	1		1
2	8	15	28				51	102	71	76	93
3	2	7	21	27			57	171	130	90	145
4		2	1	5	7		15	60	47	105	45
Total	10	25	50	32	7		124	334	249	87	284

kind, one of which concerns sample stand I at Bromarv and the other sample stand XXX at Tuusula. Both of the calculations are based on data of material collected in 1964, a year of abundant male flowering. They indicate that the number of archegonia which received pollen tubes is somewhat smaller than would be expected. The percentage obtained for the Bromarv stand is 90 % and that for the Tuusua stand 87 % of the calculated values. The reason for this discrepancy is difficult to discover. In corresponding studies on, for instance, *Pinus sylvestris* (cf. S a r v a s 1962, p. 93) no such difference was found. As a working hypothesis, we might suggest as the explanation the large numbers of pollen grains in the pollen chambers of *Picea Abies* in

years of abundant male flowering, and consequently, the large numbers of pollen tubes growing as the pollen germinates and almost destroying the nucellus, a phenomenon which could form an obstacle to the development of both pollen tubes and archegonia. Thus the disturbance in question, if it proves significant, would not be one of ordinary compatibility barriers.

Table 15 depicts compatibility barriers occurring in connection with syngamy. In the examination of the slides the stage of development of the egg cell, the zygote, the proembryo, and the embryo was compared with

Table 15. *Picea Abies.* Archegonia at the time of syngamy. Symbol *o*: archegonium not penetrated by pollen tube, *α*: syngamy, *β*: zygote not divided, *γ*: zygote divided twice, and the resulting nuclei in the distal end of the archegonium, *γ* +: proembryo 16 celled, *ς*: suspensor cells elongated and are pushing the apical cells of the proembryo into the embryo cavity, *ς* +: apical cells are divided.

Location	Sample plot No.	Fixation			Total of		Archegonia without pollen tube %	Developmental stages of archegonia						*α*—*γ* %
		Year	Date	D.d.	ovules	archegonia		*α*	*β*	*γ*	*γ*+	*ς*	*ς*+	
								% of archegonia with pollen tube						
Bromarv .	I	1964	4.—8. VII	410—443	146	392	22.7	0.2	17.8	21.7	32.3	13.5	14.5	39.7
Tuusula ..	XXX	1964	2.—5. VII	458—487	373	990	17.7	2.3	12.2	8.9	13.1	21.6	41.9	23.4

that of the archegonium and the endosperm. In this way, we concluded that the stages of development denoted *α*, *β* and *γ*, indicate clear retardation of development. If this interpretation is correct, the number of archegonia which have received a pollen tube, but in which subsequent development of the zygote has clearly lagged behind the general development of the prothallium, amounts in the Bromarv material to 40 % and in the Tuusula material to 22 % of the total number of archegonia which have received a pollen tube.

As will be shown later, the material from Bromarv must be considered exceptional, whereas the Tuusula material, as far as genetic composition is concerned, seems to represent South-Finnish population of *Picea Abies* rather well.

On consideration of the various possible causes of the deficient zygote development in groups *α*, *β*, and *γ* which could better be called degeneration, the simplest working hypothesis, for the present, seems to be that genetic factors are responsible: the zygotes in these archegonia are homozygous with respect to recessive, lethal or sublethal genes. Here we thus employ the same working hypothesis as we used previously (S a r v a s 1962, pp. 122—142) when, in the investigation of syngamy and embryonic development in *Pinus sylvestris*, we were confronted by the same phenomenon. In the last few years nothing has come to light which would make in necessary to

abandon this working hypothesis (cf. e.g. D o g r a 1967, p. 81—86); rather, the contrary (cf. e.g. F o w l e r 1964).

In the observation of syngamy, there is reason to give particular attention to the α — (syngamy) and β — (undivided zygote) stages. One can see that the development of rather a high proportion of the zygotes is already arrested at this very early stage. In the Bromarv material, stages α and β accounted for 46 % of the total early abortion; in the Tuusula material the corresponding figure was 72 %.

Stage γ is closely associated with stage β. The zygote has divided twice, and the four primary nuclei formed have moved to the distal end of the archegonia. However, development has ceased at this early stage. In the material from Bromarv, 29 % of all embryos remained in stage γ — a considerable proportion. In the Tuusula material, the figure was lower, only 6 %. Stages α, β, and γ, which all represent very early phases of zygote development, are classed together in the following as early abortion.

Post-syngamic Development

After syngamy has taken place, the zygote divides rapidly — twice in about one day. The second division follows immediately after the first. In this way four free nuclei are formed, which pass to the distal end of the archegonium and take their positions at the base of the archegonium, on the same plane. In this state these primary nuclei are easy to detect under the microscope. After about a day the primary nuclei divide twice, forming four tiers of cells directed toward the prothallium. At the same time walls form around the cells; only those parts of the lowest tier of cells touching the archegonium remain permanently without walls. This first embryonic stage, consisting of 16 cells in four tiers, is usually called the proembryo; the lowest tier comprises those cells which are open to the archegonium, the second tier the »rosette cells», the third the suspensor cells, and the uppermost the four tip cells protruding into the prothallium.

Concurrently with the beginning of proembryo development in the archegonium, great changes take place in the prothallium. All the cells, except for those close to the archegonium, divide rapidly and gradually become filled with material which serves as nutriment for the embryo. For this reason the prothallium, which gradually changes into a more and more completely nutritive tissue, is often called the endosperm after syngamy (or primary endosperm, by those who wish to stress the difference from the nonhomologous endosperm of the angiosperms). In the part of the prothallium located against the archegonium, a poorly staining cone-shaped zone (with the cone base turned towards the archegonia) can be discerned im-

mediately after syngamy. In the cells of this zone, darkly staining starch can at first be observed, but soon afterwards the cells degenerate. This is the beginning of the embryo cavity, which later widens gradually but considerably.

After the proembryo has taken shape, its development at first continues as a great elongation of the suspensor cells, in consequence of which the tip cells enter the embryo cavity that has opened in the endosperm. It is not until later that the tip cells divide, and the actual development of the embryo begins.

Picea Abies is one of the conifers in which cleavage polyembryony does not occur. Since, however, there are several archegonia in the same ovule, there is a possibility of polyzygous polyembryony, as can clearly be seen in Table 16, in which the data from sample stand I at Bromarv and sample stand XXX at Tuusula are compiled. In the compilation, the zygotes which had already aborted (stages α, β, and γ) were disregarded. Consequently, the table only contains data relating to embryos between which competition occurs in the embryo cavity. As the material investigated was collected from cones very thoroughly pollinated — the corollary of high pollen catch value — it simultaneously gives a picture of the frequency of polyembryony in the embryo cavities of *Picea Abies* when it is at about its maximal value.

It is thus obvious that competition will take place in the embryo cavities. Perhaps it is in fact even more interesting to observe that, in spite of abundant pollination, of great amounts of pollen in the pollen chambers, and of large numbers of archegonia in the ovules, the degree of polyembryony is no greater than it is. Table 16 reveals that, in spite of the abovementioned very favorable conditions, 25—31 % of the ovules with embryos contain only one embryo.

Table 16. *Picea Abies*. The degree of polyembryony in the ovules.

Location	Sample plot No.	Date of fixation	Total of ovules	Embryos in one ovule			
				1	2	3	4
				Ovules, %			
Bromarv	I	4.—8.7.1964	104	25	56	17	2
Tuusula	XXX	4.—5.7.1964	100	31	49	19	1

The considerable frequency of early abortion of the zygotes previously noted in connection with syngamy, and the later decrease in the number of embryos in the embryo cavity, show certain essential differences. Probably early abortion must be considered to depend chiefly upon genetic factors,

although environmental factors are naturally assumed to have a certain influence. The embryos dying in the embryo cavities can be divided into two groups: 1. the abortive embryos may continue to survive for varying lengths of time, depending on the genotype of the individual and the genetic quality of the pollen, and, 2. embryos which would have remained alive had they been alone in the cavity die in competition with more vigorous siblings. The basic cause of the competition is environmental, but its outcome is probably determined by genetic differences between embryos. When there are two or more embryos in the same ovule, one of which is homozygous in respect of one or several lethal, sublethal or severely defective genes, this will probably be the one to succumb first, because of its genetic weakness.

Early abortion in connection with syngamy, abortion taking place later in the embryo cavity, and reduction in the number of embryos through competition, will obviously all tend to eliminate embryos which are homozygous for lethal, sublethal, or defective genes. In certain cases these embryos would have died sooner or later — at the latest as seedlings — because of constitutional weakness. The significance of polyembryony is that the abortion of embryos incapable of survival can largely take place without any lowering of the rate of generation (the percentage of full seeds).

From the point of view of forestry it is important to determine to what extent competition in the embryo cavity is able to eliminate embryos which are homozygous in respect of less detrimental defects, but there is almost no information on the subject. In several investigations (S y l v é n 1910) it has been established that seedlings and trees which originate by self-pollination in *Picea Abies* suffer from a more or less marked lack of vigor. This shows that the burden of harmful recessive genes less defective than the lethal and sublethal (abortifacient) genes is considerable in *Picea Abies*. Although we do not know the exact nature of the process by which such detrimental genes are eliminated, it appears reasonable to assume that some such process does occur, at least to some degree (cf. S a r v a s 1962, pp. 122—136, F o w l e r 1964).

In considering the genetic causes of abortion and the outcome of competition, we have confined ourselves to the major genes. The evidence available is inadequate for a study at the level of polygenes.

A detailed tracing of the course of embryo abortion and elimination after syngamy presents considerable technical difficulties. In the study of syngamy — the stage of free nuclei and the proembryonic stage — microscope slides can be successfully used. The observation of later stages is hardly possible under a microscope. For these stages, qualitative information can be obtained by removing the embryos from the embryo cavity with the aid of a dissecting microscope, but this technique is hardly sufficient for detailed quantitative analysis.

Seed

In course of time, the ovule develops into the seed. In seed analysis, methods have to be used which are suited to large quantities of material. The application of x-ray photography to research on forest tree seed marked a great step forward (cf. Müller-Olsen, Simak and Gustafsson 1956). In the present study the method was further developed by taking the x-ray photographs as stereophotographs.

The interpretation of x-ray photographs of seed samples requires thorough knowledge of the details of ovule development. In addition, the possibilities for interpretation vary greatly, depending on the quality of the material. The seeds studied in the present investigation were collected from cones in which no larvae (or evidence of their destructive activity on cone scales and axes) were encountered. The seeds were also fully ripe and grouped by individual trees. All these precautions conferred considerable advantages. Particular difficulties in classification are posed by the empty seeds. In the present investigation we attempted to distinguish seeds empty due to nonpollination (sign Ø) from those empty due to embryo abortion (signs O and Θ); this seemed possible in the examination of well ripened seeds grouped by individual trees. There are borderline cases which are difficult to determine, it is true (cf. Andersson 1965, p. 29), but such difficulty is a commonplace in the classification of biological material.

Separation of empty seed, due to nonpollination from that due to embryo abortion is based on the fact that nonpollination causes degeneration phenomena in the ovule at an earlier stage of seed development than embryo abortion. Naturally, the factors leading to embryo abortion cannot come into effect until after syngamy. In nonpollinated ovules degeneration of the prothallium is rather advanced by the time syngamy would have taken place. Degeneration can be followed in detail on microscope slides (particularly in median sections of the ovules). Degeneration begins in the prothallium at its distal end (the other end from the archegonia). By the time syngamy should take place the prothallium of nonpollinated ovules has contracted to an irregularly wrinkled, roughly cone-shaped structure, which has its soundest parts in the proximal end, around the archegonia. The development of the archegonia usually seems to be normal. As a consequence of the degeneration of the prothallium, it is almost completely separated from the cellular tissue of the ovule surrounding it, being attached only at its proximal end. Owing to the fact that the ovule generally attains its final size at about the time of syngamy, the empty seed formed as a consequence of nonpollination, remains only slightly smaller in size than the full seed of the same individual tree.

The degeneration of the prothallia (endosperms) due to embryo abortion

becomes visible under the microscope about 1—2 weeks after syngamy. By that time the prothallium is already fairly well developed. It consists of cellular tissue resembling a wide open bag, fastened firmly at its distal end to the scale of the ovule, right at the hilum. Embryo abortion causes the considerable amounts of nutrients which the prothallium already contains at this stage to be gradually depleted, and the tissue within the seed coat for the most part to degenerate. Even the remnant of prothallium, however, has the shape of an elongated bag more or less rounded at the bottom (seen particularly clearly in median sections of the ovule). In addition, it is important to observe that the remnant of the prothallium is contracted to the point of the hilum where the prothallium is most firmly fastened to the distal end of the ovule, whereas this is not the case with the vestiges of the prothallium that remain when degeneracy is due to nonpollination.

For seed analyses, random samples of cones were collected from the sample stands at Bromarv and Tuusula. From these samples, sufficient numbers of cones without visible damage due to insects or fungi were selected, after which the seeds were extracted and x-rayed. The results of these investigations are presented in Table 17, and also the main results of the microscopic observations on ovules from the Bromarv and Tuusula sample stands.

Closer scrutiny of Table 17 gives us the opportunity to compare the percentages of aborted ovules, estimated under the microscope some time after syngamy, with the percentages of empty seed obtained from x-ray

Table 17. *Picea Abies*. Analysis of aborted ovules and empty seed. Symbol: Ø = pre-syngamy ovule (prothallium) abortion, o = early embryo abortion (in archegonium), Θ = later embryo abortion (in embryo cavity). The samples collected in 1964.

Location	Sample plot No.	Total of ovules	Aborted ovules				Total of aborted ovules		Total of seed studied	Empty seed analysis			
			Lack of pollen	%	Genetic reasons	%	ovules	%		Ø	o	Θ	Σ
										%			
Bromarv	I	146	13	8.9	42	28.7	55	37.6	1 500	7.6	25.1	4.8	37.5
Tuusula	XXX	373	22	6.5	38	10.2	60	16.1	895	5.9	13.7	2.3	21.9

photographs of the seeds. The result of chi-square-test is as follows. The figures for sample plot Bromarv I (37.6 % and 37.5 %) do not differ from each other significantly at 98 % level of confidence; the figures for Tuusula XXX (16.1 % and 21.9 %), however, are different from each other with an error risk of 5 %. Examination shows further that in the material now under investigation embryo abortion takes place chiefly in the stages of development immediately following syngamy. The great reduction in the

number of embryos due to competition in the embryo cavity naturally takes place only in later stages of development, but this does not influence the percentage of empty seeds (since one embryo in each ovule survives the struggle). This point is important, because the small number of late abortions means that reduction in the number of embryos in the embryo cavity should be considered to be exclusion by competition rather than abortion.

Our reading of Table 17 necessitates a return to Table 15, for an examination of the column α—γ, %, on the extreme right. The percentages (23—40 %) shown there reveal almost the total extent of embryo abortion.[1]) The percentages are rather high, indicating that in the populations of *Picea Abies* under observation, one out of every four and sometimes more than one out of every three fertilizations ends in abortion of the zygote. However, it is interesting to note that the specific embryonic mortality rate (cf. S a r v a s 1962, p. 133, table 31) obtained for sample stand XXX at Tuusula is of the same magnitude as the average value estimated for populations of *Pinus sylvestris* in southern Finland, or 24 %.

Examination of Table 17 further reveals that in the material now under study, collected after abundant pollination, the main reason for the development of empty seed was embryo abortion. When pollination is moderate or poor, the percentage of unpollinated ovules increases but, even so, the percentage of embryo abortion may also increase.

Thus the proportion of empty seed is evidently highly dependent on the abundance of pollination. The poorer the pollination, the greater the numbers of ovules that are not pollinated and the greater the contribution of embryo abortion in fertilized ovules. The available data even make it possible to study in more detail the regression of the empty seed percentage on pollen catch.

At present, x-ray photography seems to be the only method affording a real comprehension of the extent of empty seed formation in general, and the percentages due to nonpollination and to embryo abortion respectively. For this purpose, our examination centered on those seed samples for which data were available as far back as the time of flowering (especially data on pollen catch).

In this connection one considerable factor, only referred to casually above, becomes important. In addition to empty seed caused by nonpollination and embryo abortion, there is also seed which is empty as a result of insect damage. In terms of the damage they do, insect pests can be divided into two groups: those living in the seed and those living between the cone

[1]) Perhaps there is reason to add 1—5 % to the embryo abortion percentages, figures indicating the decrease in the viability percent occurring even under optimum conditions for germination, and the almost inevitable losses sustained during the initial development of seedlings, even when they are cared for in the best possible way.

scales (and in the cone axis). The insects of the former group have already been briefly mentioned. They do not cause noteworthy difficulties, for they occur in both pollinated and nonpollinated ovules, which are easy to separate into the correct categories by x-ray analysis. In dealing with the larvae living between the cone scales and their effect on the size and quality of the seed crop, on the other hand, accuracy is more difficult to achieve. The ovules exposed to the depredations of such larvae are either destroyed or damaged. The number of destroyed seeds is difficult to estimate, but most of the damaged ones can be recognized on x-ray photographs. However, the larvae also cause serious damage to the basal parts of the cone scales and the cone axis during the early development of the female strobilus. As a consequence, the organic continuity between the healthy parts of the cone and the ovule is interrupted. From this it follows that a greater or lesser proportion of the ovules degenerates, adding to the percentage of empty seed. Empty seeds which originate in this way are almost impossible to distinguish, on x-ray photographs, from seeds that are empty due to embryo abortion, although it is in most cases possible to distinguish them from nonpollinated seeds.

For these reasons, the seed samples studied in this connection were, as far as possible, collected from healthy cones only. Particularly during the initial years of the investigation, however, too little attention was given to this point, and even in later years it was difficult always to make sure that the cone samples to be examined were really healthy.

With these reservations, we present the results of analyses concerning the seed samples in Table 18. As the percentages of empty seed, due to both

Table 18. *Picea Abies*. Results of x-ray photograph analysis of seed samples. Symbol: Ø = pre-syngamy ovules abortion, o = early embryo abortion, and Θ = later embryo abortion.

Location	Sample stand No.	Flowering year	Total catch pollen mm².	Seeds examined	Empty seed			
					Ø	o	Θ	Total
					% of seed examined			
Tuusula	XXX	1953	69	982	19.5	41.0	· [1]	60.5
Tuusula	XXX	1954	170	924	6.9	18.0	·	24.9
Tuusula	XXX	1956	257	2 197	4.3	21.7	2.4	28.4
Tuusula	XXX	1958	23	1 324	41.8	33.6	5.7	81.1
Vilppula	VIII	1959	93	301	19.4	(47.8)	(1.0)	(68.2)
Tuusula	XXX	1961	89	1 766	18.6	24.1	1.1	43.8
Tuusula	XXX	1962	95	607	11.3	34.3	6.8	52.4
Bromarv	I	1964	245	1 500	7.3	25.1	4.9	37.3
Tuusula	XXX	1964	202 [2]	895	5.9	13.7	2.3	21.9
Punkaharju	LII	1964	115	1 001	10.3	20.0	4.9	37.9
Kuorevesi		1964	133	996	6.8	27.4	9.7	43.9

[1]) o and Θ have not been separated from each other.
[2]) Measured with recording sampler

nonpollination and embryo abortion, are dependent on the abundance of pollination, particular attention was paid to the relation of the empty seed percentage to the pollen catch measured during the period of flowering. Diagrams showing this are presented in Figs. 20 and 21.

Let us first study the regression of empty seed due to lack of pollination on the pollen catch. The equation of the regression obtained is $\log y = 2.91 - 0.928 \log x$.

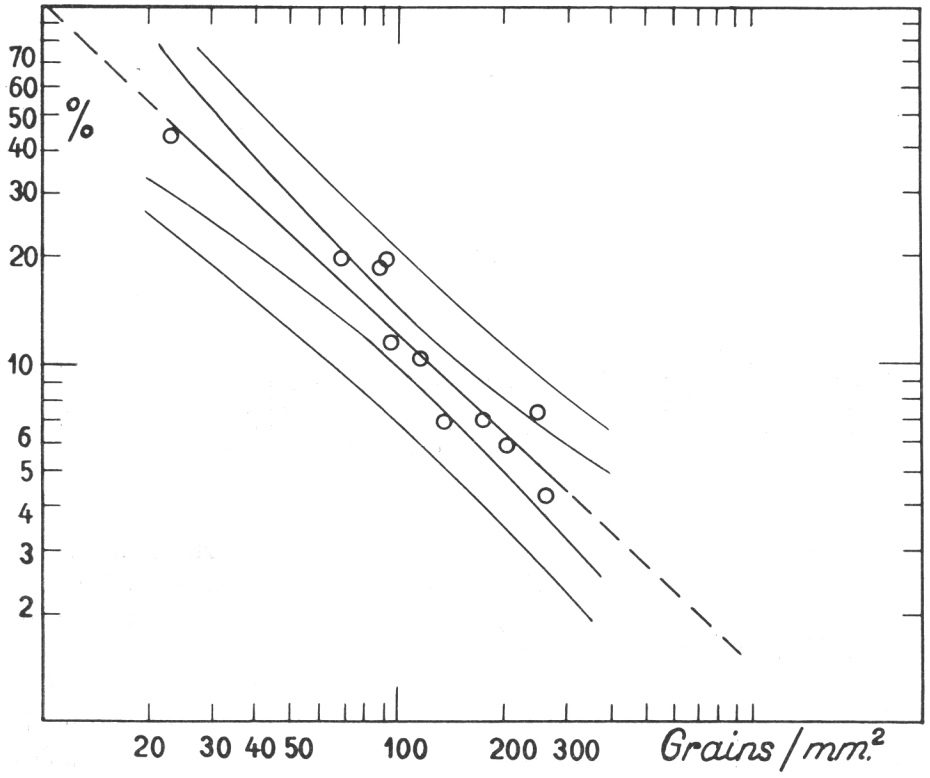


Fig. 20. *Picea Abies*, South-Finland. The regression of the pre-syngamy ovule abortion percentage on the pollen catch, grains/mm.^{2} The equation of the regression line is $\log y = 2.91 - 0.928 \log x$. The standard deviation from regression is 0.107 %. The inner curves indicate the confidence belt for the regression line, and the outer curves the confidence belt for a single prediction, at 95 % level of confidence. Scale logarithmic.

On inspection of Fig. 20, it can also be seen that the average percentage of seed empty due to nonpollination, at average values of the pollen catch (about 100 grains/sq.mm.), ranges from 10 to 15 %. At the highest values of the pollen catch obtained in the area investigated (about 300 grains/sq.mm.) there is on the average 3—6 % empty seed due to nonpollination, whereas at low, but usual, values of the pollen catch (about 20 grains/sq.mm.), such empty seed ranges from 30 % to 90 %.

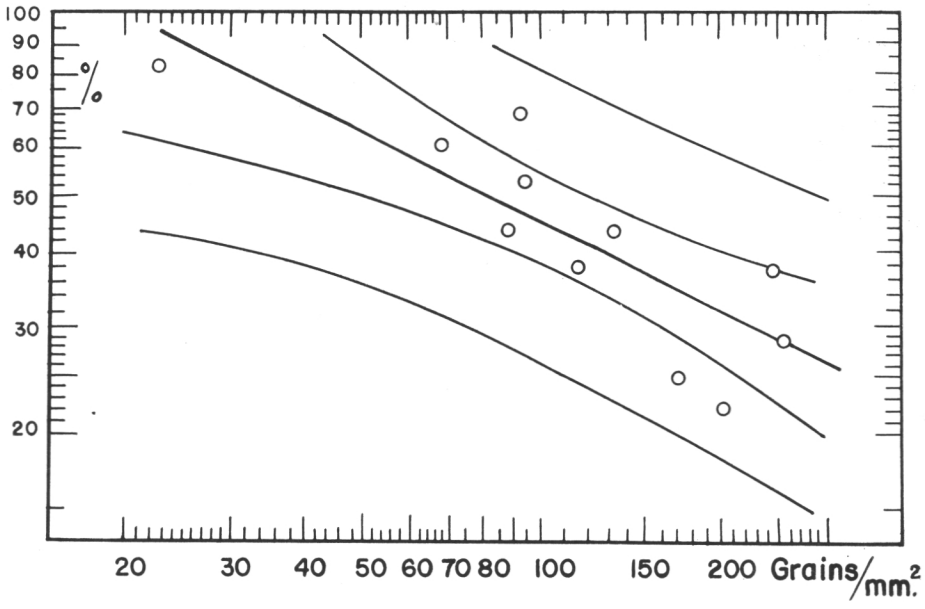


Fig. 21. *Picea Abies*, South-Finland. Regression of empty seed percentage on pollen catch, grains/mm.^{2} The regression equation is log y=2.660—0.506 log x. The standard deviation from regression is 0.106 %. The inner curves indicate the confidence belt for the regression line and the outher curves the confidence belt for a single prediction, at 95 % of confidence. Scale is logarithmic.

In this connection it is interesting to compare *Picea Abies* and *Pinus sylvestris* (S a r v a s 1962, p. 113); in the latter, the percentage of aborted ovules corresponds to the percentage of empty seed due to nonpollination in *Picea Abies*. A comparison of this kind reveals that there is in *Picea Abies* much less degeneration of the ovules due to nonpollination than in *Pinus sylvestris*. We already know that, at certain values of the pollen catch, the female strobilus of *Picea Abies*, gathers a greater average amount of pollen per ovule than the female strobilus of *Pinus sylvestris*. The result now obtained is consistent with this earlier result.

The total percentage of empty seed is indicated by the points and the regression line in Fig. 21. They show the joint effect of poor pollination and embryo abortion. The regression is obviously disturbed to a considerable degree by seed empty due to insect damage (primarily caused by *Laspeyresia strobilella* L.), which we have probably not been able to eliminate from the samples to a satisfactory extent. The equation of the regression obtained is log y = 2.660 — 0.506 log x. The 95 % confidence belts for the population mean and for single predictions are very broad, owing to the wide scatter. It seems obvious that enlarging the material would not help very much; the primary concern must be to lower the standard deviation from the

regression. This may be possible by improving the sampling and measuring techniques, e.g. by more careful elimination of insect damaged cones.

Because of the broadness of the confidence belt, only broad conclusions can be drawn from the regression. Evidently the contribution of embryo abortion to the formation of empty seed is quite considerable at all values of the pollen catch. At medium pollen catch values (100 grains/sq.mm.), it averages about 75—80 %, at high values (300 grains/sq.mm.) about 80 %, and at low values of the pollen catch (20 grains/sq.mm.) about 45 % of the total quantity of empty seed. Thus, — in spite of polyembryony — embryo abortion increases the percentage of empty seed, which for this reason is usually very high in *Picea Abies* (according to previous investigations about 50 %; cf. Heikinheimo 1932, 1937, 1948, Sarvas 1957).

In the study of the quality of the seed from the point of view of forestry, the weight and ripening of the seed also merit particular attention. However, these questions are beyond the scope of this investigation, as are many other questions connected with the utilization of the seed.

Deficient Ovules

Not all the ovules in the female strobili of *Picea Abies* are capable of normal development. At the apex of the female strobili and at their base, there is a varying number of cone scales, on which organically deficient ovules are developed. Some of these are pollinated, it is true, but all of them degenerate at an early stage of development.

As a consequence of this early degeneration, the ovules scarcely develop at all; in ripe cones nothing but a small piece of shrivelled tissue can be seen. The seed wing, however, develops almost normally. Hence, even in *Picea Abies* pure wings develop, as they do in *Pinus sylvestris*, and in part for the same reasons. On the other hand, as was noted before, the nonpollinated ovules in *Picea Abies* do not change into pure wings, as in *Pinus sylvestris*, but into empty seed. The difference is striking, even at first glance, and it doubtless is important from the standpoint of forestry. Biologically, however, the difference is more quantitative than qualitative in nature, and from this point of view hardly significant. The difference is due to the fact — as has previously been pointed out (Sarvas 1962, p. 111) — that from the very beginning the ovule of *Picea Abies* develops much faster than that of *Pinus sylvestris*; hence before failure of pollination in *Picea Abies* can have any great effect, the ovule has already grown to almost its full size.

The numbers of deficient ovules in *Picea Abies* were studied by tearing apart some cones from different cone samples and noting the situation, scale by scale. Table 19 shows the results of one investigation of this kind. Earlier

Table 19. *Picea Abies*. Data concerning seed cones; 7 tree individuals, 32 seed cones.

Location	Sample stand No.	Flowering year	Ovules			Sterile base scales	Cone	
			Deficient		Fertile		Length	Width
			apex	base			mm.	
Tuusula	XXX	1956	1.13 ±0.27	16.7 ±1.3	242.6 ±4.3	30.2 ±1.1	98.3 ±1.4	36.9 ±1.1

investigations (A n d e r s s o n 1965, p. 91) have revealed that there is a considerable variation in the number of seeds in cones of *Picea Abies*. Preliminary observations made during the present investigation indicate that the temperature sum of the preceding summer is a factor here. For this reason, our example has been chosen from a year in which the temperature sum of the preceding year was about average (102 % of the mean).

The example shows that there are very few deficient ovules — only 1.1 on an average — at the tip of the cone, and often none at all, although there are more, 16.7 on the average, at the base.

Size and Quality of Seed Crop

For measurement of the seed crop in *Picea Abies*, seed traps were installed in sample stands located in different parts of Finland. Seed traps have already been referred to in connection with measurement of the male flower residue. Here again the question arises as to how many traps are required to achieve a prescribed degree of accuracy. The dispersion of the results of the measurements of individual traps was so wide, however, that the standard deviation is unduly great, being almost equal to the mean. In addition, the distribution is very skew. These facts seem to rule out the possibility of using statistical methods to predict the number of funnels required to attain a prescribed accuracy of measurement. The result of previous attempts to measure the seed crop of *Picea* Abies led us to doubt whether the seed trap method is suitable for this purpose. Since, however, the seed traps, which were to be used for measurement of the male flower residue, had been installed for this purpose in the sample stands, the seeds which were shed into the bags were also removed and counted. Although the value of the annual measurements is questionable, we can hope that the averages covering several years will be more useful. For the time being, however, such averages are only available for a few stands; moreover, they have been compiled over such short periods of time that reliability tests of the results cannot yet give a correct picture of their validity.

Table 1, p. 8, presents the characteristics of the sample stands. The results of measurements of the size and quality of the seed crop are compiled in Tables 20, 21 and 22.

In order to enable a more accurate comparison to be made between the potential seed crop calculated on the basis of the number of female inflorescences and the actual seed crop measured with the aid of seed traps, a special study was conducted in the research area regarding the average number of seeds contained in a single *Picea Abies* female cone. For this purpose, in 16 sample stands, random samples of cones in a not too decayed state were collected from the cones that had fallen to the ground. Each sample was representative of one sample stand and contained 100 cones. The cones involved were representative of the crops of about 6 succeeding years. From these cones, 48 were randomly selected and examined in detail. Each cone was torn apart and the number of the imprints left on the cone scales by

Table 20. The quantity of

Location	Sample stand No.	Domin. height m.	Flowering				
			1954	1955	1956	1957	1958
			Seeds (filled				
Jomala	II	23.0					
Bromarv	I	28.0					
Tuusula	XXX	24.0				22	18
Padasjoki	III	27.1	1 417	6	100	15	131
Padasjoki	IV	29.0	1 198	27	70	4	92
Punkaharju	LII	22.5					
Siilinjärvi	544	20.5					
Vilppula	XVII	25.5	378	7	87	70	355

[1]) This figure should be increased by about 20 % on account of a large number of gaps in

the seeds was counted. (The seed count is not simply equal to the number of the cone scales multiplied by two, since there are at the tip and, particularly, at the base of a cone, a varying number of sterile scales.) The investigation revealed that the number of fertile cone scales is $\bar{x} = 118.2 \pm 1.88$ scales per cone, that of sterile cone scales at the tip, $\bar{x} = 4.06 \pm 0.131$

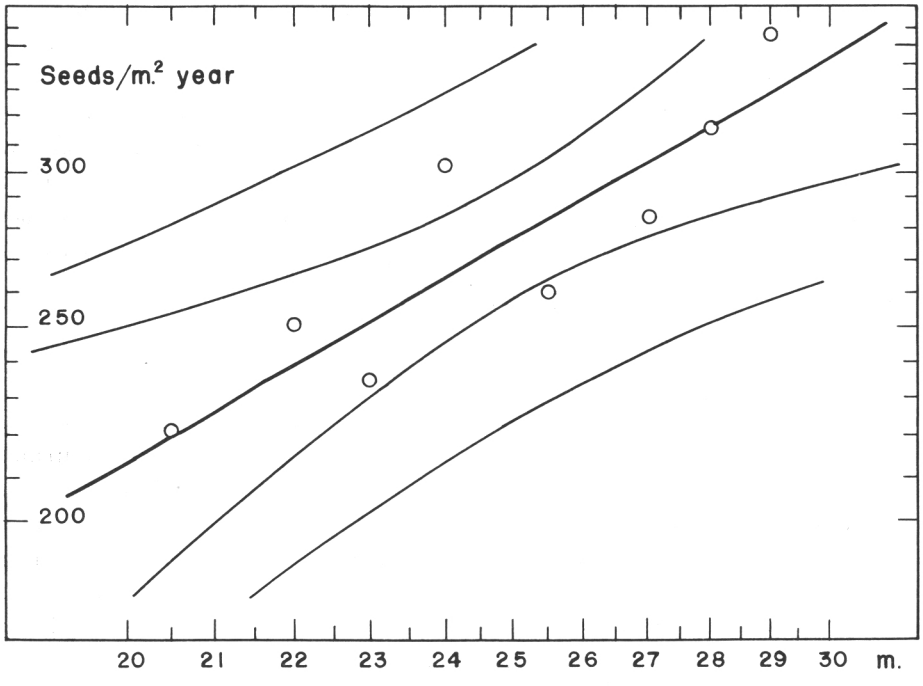


Fig. 22. *Picea Abies*, South-Finland. Regression of the annual average quantity of the seed crop, seeds/m.², on the dominant height of the stand. The regression equation is log y = 0.818 + 1.163 log x. The inner curves indicate the confidence belt of the regression line, the outher curves the confidence belt for a single prediction. Scale logarithmic.

seed crop in sample stands.

year									Aver-age
1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	
and empty)/m².									
	48	3	631	61	547	34	119	(118)	196 [1])
	143	4	117	9	2 000	30	103	(138)	316
58	196	219	39	2	671	42	56	(1 906)	302
44	704	11	10	10	384				283
118	1 360	53	34	13	834	98			356
	(600)	151	55	9	78	1 004	28	(88)	251
	291	74	29	3	6	1 140	184	(46)	222
14	738	403	9	5	680	267			260

the stands caused by destructive storms.

scales per cone, and that of sterile scales at the base, $\bar{x} = 23.6 \pm 0.55$ scales per cone. On sites of average quality (Myrtillus-site type and Oxalis-Myrtillus-site type), the average number of seeds is thus about 236 per cone. This is thus the coefficient by which the number of female inflorescences is to be multiplied to obtain the corresponding number of seeds.

As could be anticipated, the comparison between the regressions shown in Figures 14 and 22 respectively reveals that the potential seed crop estimated on the basis of the number of the female inflorescences was heavier than the actual crop measured with the aid of seed traps. For instance, in stands where the dominant height is 25 meters, the potential seed crop is $1.25 \times 236 = 344$ seeds per sq. meter, but the actual crop 275 seeds per sq. meter. The difference is remarkable. Actual seed crops average only about 80 % of the potential ones. It is reasonable to conclude that this difference is not likely to have been caused by insufficient pollination of the female inflorescences, since the unpollinated ovules in *Picea Abies* unlike those in *Pinus sylvestris*, also develop into seeds, even though empty. Various kinds of damage to the cones and seed must, no doubt, be considered the principal reason for the difference between the potential and actual seed crops. They are caused, amongst others, by squirrels, birds, insects, fungi, and, at the flowering time, also by frost, as a result of which a varying number of the female inflorescences freeze failing to develop. Damage to the seed of *Picea Abies* has previously been treated in great detail (cf. R u m m u k a i n e n 1960) and, therefore, it is not necessary to go any further into the matter in this connection. It would, however, be wrong to conclude that the extent of the damage to the seed could be estimated on the basis of the difference between the potential and actual seed crops. This is not possible on account of the fact that a very considerable portion of the damaged seed — a portion that unfortunately is difficult to estimate, falls into the seed traps increasing the percentage of empty seed in the actual seed crop.

Although the average actual seed crops of *Picea Abies* are considerably lighter than the potential ones, they must, nevertheless, be considered heavy. Particularly, in comparison with the seed crops of *Pinus sylvestris*, they are heavy, i.e. about two- to three-fold (cf. Sarvas 1962, pp. 150—160). In addition, it is characteristic of *Picea Abies*, that a few years of top yields are responsible for a very considerable portion of the total yield. This is a fact that has long been known (cf., for instance, Soboleff and Fomitzeff 1908, Heikinheimo 1932, 1937, Tirén 1935, Siegl 1953, Sarvas 1957, Bonnevie-Svendsen and al. 1965, Skoklefald 1966). The series of numbers compiled in Table 20 illustrate this. The crops of years of top yields have been 4.5-fold as compared with an average crop. In the majority of the sample stands, in the 8—12 years, during which the present investigations have been in progress, top yields have been measured only once. Investigations carried out in Vilppula in 1927—1956 concerning the seed crop of *Picea Abies* (Sarvas 1957, p. 538) revealed that top yields occur about once in 12—13 years. The present findings support this conception. The annual variations in the seed crops of *Picea Abies* and their causes will not, however, be dealt with in this paper, for the author intends to publish the findings concerning them as a separate study.

Table 21. The empty seed percentages in sample stands.

Location	Sample stand No.	Flowering year															Average
		1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	
		Empty seed, %															
Jomala	II	—	—	—	—	—	—	—	92	98	81	95	79	91	77	84	81
Bromarv	I	—	—	—	—	—	—	—	84	78	80	86	64	81	91	65	68
Tuusula	XXX	52	22	71	26	·	·	75	95	92	100	37	56	77	97	76	75
Padasjoki ...	III	85	39	63	52	·	·	80	87	90	100	92	48	72	98	·	39
Padasjoki ...	IV	—	—	—	—	—	—	—	91	94	81	93	71	74	100	·	84
Punkaharju..	LII	—	—	—	—	—	—	·	59	99	96	80	94	66	89	98	70
Siilinjärvi ...	544	—	—	—	—	—	—	—	92	97	91	100	100	48	82	54	58
Vilppula	XVII	—	26	72	78	·	·	52	85	·	77	100	100	71	84	77	77
																Total	66.5

When the quality of seed crops is being examined, particularly the proportion of empty seed, the weight of full seed and the matureness of seed merit attention. Below, only the proportion of empty seed and the weight of filled seed will be dealt with. Except in especially cold summers, the seed of *Picea Abies* matures almost regularly in the study area, i.e. southern Finland. In northern Finland, again, the maturation of seed is a matter of utmost concern, but that area is beyond the scope of this study.

The percentage of empty seed in the seed collected from the seed traps was determined with the aid of x-ray photographs taken of the seeds (Müller-Olsen and al. 1956). The results are compiled in Table 21.

When the results are being examined, attention is in the first place attracted by the fact that even in the same study stand, the percentage of empty seed varies considerably: the percentage of empty seed is generally smallest in years of heavy crops and largest in years of poor crops. This annual variation has also earlier attracted attention (for instance, Heikinheimo 1948, Jurkevitsh and al. 1940, Sarvas 1957, pp. 547—550). It was then generally assumed that poor pollination of the female flowers in years of poor crops was responsible for the variation: when there are few female flowers, the number of male flowers is also generally small, which leads to poor pollination. (As regards good wind pollination, the number of the male flowers required is, of course, the same whether the number of the female flowers concerned is great or small.) On the basis of the findings of the present study (cf. p. 60) it can, however, be concluded that the result of poor pollination is not only that numerous ovules fail to become pollinated but also that the number of empty seeds increases considerably on account of the fact that in the polyzygotic polyembryo system, which is a characteristic of *Picea Abies*, embryo abortion more often leads to ovule abortion. In addition, in years of poor crops, the proportion of the seed damaged in various ways is much larger than in years of abundant crops.

It should be noticed, however, that in years of abundant yields, and even in those of top yields, the percentage of empty seed might be surprisingly high, varying from 39 to 91 %. The reason for this is the high mortality rate of the embryos, damage to the seed and also the fact that a year of abundant female flowering is not necessarily a year of abundant male flowering.

When different study stands are compared with one another, differences are found between them. These differences manifest themselves most clearly when the average percentages of empty seed are compared with one another. It is difficult to determine to what extent these differences are significant. Their most characteristic feature is probably the diversity of the damages suffered by the seed. The average percentage (weighed with the numbers of seeds) of empty seed is 66.5 %. This figure is conspicuously higher than the averages presented earlier. For instance, in the study published by Heikinheimo (1937, p. 26), the average percentage of empty seed of *Picea Abies* rose to 45.2 %. This is even more remarkable in that the study stands selected for the present investigation are extensive, pure *Picea Abies* stands, whereas, for instance, in Heikinheimo's study most of the stands were mixed stands. The likely reason for this discrepancy is that in the

present investigation, seeds in which more than one half is intact have been counted as empty seed. Also, the x-ray method, no doubt, is more successful than the splitting method in the clarification of the proportion of empty seed.

It was established above that the average seed crops of *Picea Abies* are generally heavy, particularly as compared with those of *Pinus sylvestris*. The capacity of the crops is, however, greatly reduced by the large number of empty seeds. In fact, the clearest picture of the seeding capacity of *Picea Abies* is obtained by examining the crop of filled seed instead of the total crop. A compilation of the results concerning the study stands is shown in Table 22.

Table 22. *Picea Abies*. The amount of filled seed in sample stands.

Location	Sample stand No.	Flowering year														Average
		1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	
		Filled seed/m².														
Jomala	II	—	—	—	—	—	—	4	0	119	3	116	2	27	19	36
Bromarv	I	—	—	—	—	—	—	23	1	23	1	720	6	9	48	104
Tuusula	XXX	—	—	—	—	—	15	10	8	0	1	295	10	2	456	88
Padasjoki	III	857	2	48	·	·	9	94	1	0	1	200	—	—	—	137
Padasjoki	IV	—	—	—	—	—	—	120	3	6	1	243	25	—	—	66
Punkaharju	LII	—	—	—	—	—	—	245	1	2	2	5	342	3	2	76
Siilinjärvi	544	—	—	—	—	—	—	104	2	3	0	0	591	33	21	94
Vilppula	XVII	280	2	19	·	·	7	113	·	2	0	0	77	—	—	56
															Average	83

When Table 22 is examined, the scantiness of filled seed is immediately likely to attract attention, especially if the figures presented in Table 20 regarding the total number of seeds produced are borne in mind. On an average, 83 filled seeds per sq. meter have fallen during the time the present investigations have been in progress. This seed count almost equals the earlier measurements of the seed crops of *Pinus sylvestris* in stands growing on correspondingly fertile sites (S a r v a s 1962, p. 159). In the study area, the seeding capacity of *Picea Abies* is thus not as high as generally might have been expected.

When the quality of the seed harvest is assessed, the weight of the full seed should be taken into account. A heavy seed usually contains more food reserves for the early stages of embryonic development than a light seed, and for this reason, especially when conditions for germination are poor, a heavy seed produces a more viable seedling than a light one. In the present investigation seed weight was studied as follows: seeds that had fallen into the seed-traps were x-rayed, and, on the basis of the radiographs, the empty seeds were separated from the full ones, after which the latter were dried at+105°C and weighed. Currently the data gathered in this way

are so meager that there is no point in presenting them by experimental area or year, as yet at anyrate. So far it has been possible to weigh a total of 2429 seeds from 6 experimental areas over a period of 5 years. The average weight of 1000 seeds is found to be 4,75 g.

Discussion

As regards the problems considered and research methods employed, the present investigation follows broadly the same lines as the author's previous (1962) study on the flowering and seed crop of *Pinus sylvestris*. Since *Pinus sylvestris* and *Picea Abies* are the most important tree species in Finland, it has been necessary, in the interests of practical forestry, to obtain more detailed information on the biology of the flowering process and on the development of the seed crop in these two species. The study of *Pinus sylvestris* revealed that, considered as a whole and particularly with the exchange of genes in mind, the flowering mechanism in this species must be regarded as evolutionarily advanced and efficient, in fact more efficient than is generally believed. This led us to suspect that conifers may generally possess a very efficient genetic system. It was hoped that fuller acquaintance with this aspect in *Picea* would enable us to acquire a better perspective on some of the concepts and hypotheses resulting from the investigation of *Pinus sylvestris*, because *Picea*, although assigned to the same family (*Pinaceae*), differs considerably from *Pinus sylvestris*.

In investigations on the efficiency of gene exchange, selfing and inbreeding arouse special interest, because inbreeding allows but little opportunity for gene exchange, and selfing fails altogether in this respect.

The present study has revealed that, like *Pinus sylvestris*, *Picea Abies* possesses no real presyngamic incompatibility barriers to selfing. In both species, however, the female flowers are receptive before the male flowers of the respective trees shed their pollen (metandry), a fact which naturally lessens the probability of self-pollination. However, the female flowers are still receptive when the anthers of the same tree shed their pollen and, therefore, it seems unlikely that metandry alone is a very efficient barrier to self-pollination. The efficiency of metandry is greatly increased by the limited volume of the pollen chambers of the ovules. In the study stands, the average capacity of the pollen chamber of *Picea Abies* is 5.1 ± 0.17 grains. The corresponding number for *Pinus sylvestris* in the same study area is 2.1. The pollen chamber of *Picea Abies* will thus accommodate more than twice the amount of pollen and it is therefore reasonable to presume that metandry is less efficient in hindering self-pollination in *Picea Abies* than in *Pinus sylvestris*.

The multiarchegonial system in *Picea Abies* is about the same as in *Pinus sylvestris*, but the average number of archegonia per ovule is greater (2.8—3.4 against 2.1 in *Pinus sylvestris*). Thus it follows that in many ovules, especially in years of abundant pollination, more than one archegonium is fertilized. The result of this is again that many embryos develop in the same ovule. The consequences of a plurality of archegonia are defined as follows: 1. Embryo abortion does not necessarily lead to ovule abortion, 2. Competition between the embryos occurs in the embryo cavities. Let us first discuss point 1.

In *Picea Abies* as in *Pinus sylvestris*, embryo abortion is very common. The homozygosity of embryos with regard to lethal genes must be considered the principal reason for this. There is a possibility of homozygosity of this kind in any zygote, but inbreeding and particularly selfing greatly increase its probability. The proportions that embryo abortion has reached in both *Picea Abies* and *Pinus sylvestris* are so high as to attract attention; in the stands studied, embryo abortions led to a loss of about one quarter of all the zygotes. This amount may be sufficiently large to eliminate the bulk of the zygotes produced by selfing and even a large proportion of those produced by inbreeding.

One of the aims of the present study was to determine at which developmental stages embryo abortions mainly occur. For this purpose the course of development of the embryo was divided into different stages and it was ascertained what proportion of the embryo abortions occurred at each stage. The following results were obtained: stage 1: syngamy in progress, 4.7 %; stage 2: zygote undivided 41.6 %; stage 3: zygote has divided twice, 38.7 %; stage 4: zygote has divided more than twice, 15 %. Stages 1—3 were classed together as early abortion and stage 4 as late abortion. Early abortions thus amounted to 85 % of the total embryo abortions, and almost one half of the abortions occurred before any division of the zygote had taken place.

Speculations as to how these abortions are brought about has given rise to several hypotheses. The simplest explanation is to assume that most of the lethal genes are involved with such fundamental processes that their lethality takes effect early in the development of the zygote.

Speculation can also be based on the assumption that embryo abortion has a certain function favorable to the genetic systems in *Pinus sylvestris* and *Picea Abies*. It is obvious that embryo abortion would be an efficient mechanism for eliminating the zygotes produced by selfing and inbreeding, thus paving the way for outbreeding, which leads to more efficient gene exchange.

One of the facts in support of this hypothesis is that embryo abortion mainly coincides with syngamy, with the result that a minimum of harm is done to the subsequent development of the ovule. In this connection, it

is worth emphasizing that an embryo abortion system of the kind found in *Pinus sylvestris* and *Picea Abies* will render the species comparatively susceptible to hazards. Obviously, extinction may ensue if the trees are reduced to selfing and inbreeding. This hypothesis is supported by the fact that several conifer species which survived the last glacial period in small refuges lack this system. In this connection, reference may be made to L a n g n e r's study (1959) of *Picea Omorika* (Panĉić) Purkyne and F o w l e r's (1964) of *Pinus resinosa* Ait. The species investigated by the present author include *Pinus Cembra* L. and *Pinus Peuce* Griseb., which apparently also lack the system of embryo abortion (are also among the »impoverished» ones).

According to this interpretation, the high load of the lethal genes in *Picea Abies* (and *Pinus sylvestris*), which produces embryo abortion at syngamy, would be comparable, functionally, to the polyallele systems which in angiosperms prevent pollen from germinating on pistils of the same individual. Although the lethal load now under discussion does not appear to eliminate the products of selfing so effectively as the polyallele systems of angiosperms, it may be even more efficient in eliminating zygotes resulting from inbreeding. Earlier on, we established that metandry and the limited volume of the pollen chamber are quite efficient barriers to self-pollination, but fail to prevent inbreeding. Since as a consequence of the comparatively poor dispersal of seed the trees in the forests produced by natural seeding grow largely in family groups, it appears that inbreeding is the form of fertilization that will most greatly restrict gene exchange. In *Picea Abies* stands, the degree of relatedness between neighbouring trees may definitely be expected to be closer than in *Pinus sylvestris* stands. This is due to the fact that *Picea Abies* usually regenerates under its own canopy, while *Pinus sylvestris* is most commonly seeded by individual trees surviving in burnt-over areas and marginal stands.

The effect of competition between the embryos in the embryo cavity is about the same as that of embryo abortion. We have previously concluded that in *Picea Abies*, on account of the larger pollen chamber, metandry is obviously less efficient than in *Pinus sylvestris*. To counterbalance this, the average number of embryos produced in the ovules of *Picea Abies* exceeds the number produced in the ovules of *Pinus sylvestris* and, therefore, competition in the embryo cavity is keener. However, when pollination is poor, the number of embryos produced per ovule will be small in spite of the numerous archegonia, and competition consequently weak.

There is another reason, too, why the effect of poor pollination is genetically more deleterious in *Picea Abies* than in *Pinus sylvestris*. *Pinus sylvestris* sheds its poorly pollinated female flowers during the first growing season, whereas *Picea Abies* does not.

From all this it follows that, depending on the abundance of pollination, the genetic variation in the seed crop is greater in *Picea Abies* than in *Pinus sylvestris*. Poor seed crops in *Picea Abies*, which generally result from poor pollination, are affected the most by selfing and inbreeding, and probably more than poor seed crops of *Pinus sylvestris*. This is one reason why seed collecting, particularly in the case of *Picea Abies*, should be confined to years of peak yields.

Summary of Principal Results

Introduction

The goal of the investigation was to clarify the factors controlling the size and quality of the seed crop in *Picea Abies*. It was also assumed that a detailed study, concentrated on one conifer genus and species important from the forestry point of view, would add to the general understanding of the basic phenomena upon which the flowering and seed crop of forest trees depend.

Male Flowering

The abundance of male flowering was studied by measuring the amounts of male flower residue falling to the ground, with the aid of seed traps. Multiplication of the amount of the residue by a coefficient of 1.97 gives the corresponding amount of pollen in *Picea Abies* in southern Finland. The regression of the annual average amounts of male flower residue on the dominant height of the stand indicates that the amount of male flower residue increases sharply with increase in the dominant height of the stand.

The seasonal course of anthesis was studied indirectly by measuring the pollen catch, using recording samplers. When temperature sums are used, rather than calendar time, the frequency distribution of the temperature sums of catches in years of abundant male flowering seems almost to take the shape of a normal distribution. Wind and rain, however, cause irregularity in the distribution.

The pollen catch was studied by means of globular (Ø 3 cm) pollen samplers. The regression between the pollen catch and pollen production was roughly determined.

Female Flowering

The abundance of female flowering in the sample stands was studied by counting the female strobili from a representative sample of standing trees. From the results we calculated the relation of the annual average number of female strobili to the dominant height of the stand. The regression line

reveals that the number of female strobili increases sharply with increase in the dominant height.

Pollination

To determine the amounts of pollen received by the ovules the numbers of pollen grains lodged at the mouth of the micropyle tube were counted in random samples of ovules. The counts were made immediately after the peak of anthesis in the sample stands. This was done under a dissecting microscope. The amounts of pollen received by the ovules are proportional to the pollen catch. With high pollen catch values the average numbers of pollen grains received by the ovules may be rather large (about 30 grains/ovule).

The transfer of pollen from the mouth of the micropyle tube into the pollen chamber is effected by the pollination drop. Several pollination drops can be produced in succession by the same ovule. The pollination drop system is very liable to be damaged by spring frosts, which often occur during the flowering period of *Picea Abies*.

The numbers of pollen grains entering the pollen chambers were studied by preparing microscope slides of ovules representative of the sample stands. The results indicate that the number of grains in the pollen chamber is generally considerably smaller than the number that reach the ovule. The limiting factor is the volume of the pollen chamber. The best result of our measurements of the average capacity of the pollen chamber (sample stand I at Bromarv in 1964) was 5.1 ± 0.17 grains.

For the reason mentioned above, the average numbers of pollen grains entering the pollen chambers are not proportional either to the pollen catch or to the amounts of pollen reaching the ovules. However, as the pollen catch increases, the average number of pollen grains entering the pollen chambers finally approaches the upper limit of 5.1. The distribution is far from random (i.e. not close to the Poisson distribution), because of the fact that in most years the wind blows mainly from the same direction during the period of flowering. Free-hand curves were drawn of the distribution.

The germinative capacity of the pollen was studied from microscope slides of pollen in its natural habitat, the tip of the nucellus. The germinative capacity was high, varying from 86 to 99 %.

Development of the Ovule

The number of archegonia was studied from microscope slides of ovules in representative samples taken from the sample stands. The mean number

of archegonia varied between 2.8 and 3.4. The smallest numbers were observed in samples from stands growing on poor sites and the greatest in stands growing on fertile sites. The annual variation was not significant. The number of archegonia formed did not depend on the abundance of pollination.

The course of syngamy was studied in relation to the temperature sum. The frequency distribution of the temperature sums of syngamies proved to be almost normal.

The investigation of possible compatibility barriers did not reveal the existence of any barriers between pollination and syngamy. Embryo abortion reaches considerable proportions (20—40 % of all fertilizations) at syngamy itself and immediately after it (in the rosette stage of the ovule) and seems to form the main part of the total embryo abortion.

When several archegonia in the same ovule are fertilized, the inevitable consequence is that, particularly after abundant pollination, competition between vigorous embryos occurs in the embryo cavity of many ovules (about 70 %). This entails the death of a great many embryos, even vigorous ones, but this reduction to one embryo per ovule is a fundamentally different phenomenon from embryo abortion.

Ovules which fail to trap pollen develop into empty seed. Empty seed is also produced as a result of embryo abortion. The relation between pollen catch and the amounts of empty seed due to lack of pollen and due to embryo abortion respectively was studied.

Using seed traps we were able to measure the size and quality of the seed crop. The average of all the measurements, was smaller as would be expected on the basis of a count of female strobili.

The proportion of empty seed in the seed crop amounted to 67 %.

Literature

Andersson, E. 1947. Pollen and seed setting studies of an asyndetic spruce and some normal spruces; and a progeny test of spruces. Sv. papperstidn. 50: 74—83, 113—117, 146—152, and 177—179.

—»— 1954. Några data om pollenvariationen och pollenfertiliteten hos gran och tall. (Some data concerning the pollen variation and pollen fertility of spruce and pine.) Ibid. 57: 242—255 and 654—676.

—»— 1965. Cone and seed studies in Norway spruce (*Picea Abies* (L.) Karst.). Studia forest. Suecica 23.

Bonnevie-Svendsen, C. and Skoklefald, S. 1965. Frøproduksjonen i granskog. Norsk skogbruk 11: 619—622.

Dieckert, H. 1962. Selbststerilität und Selbstfertilität bei *Picea Abies* Karst. und *Larix decidua* Mill. Duplicate.

—»— 1964. Einige Untersuchungen zur Selbststerilität und Inzucht bei Fichte und Lärche. Silvae genetica 13: 77—86.

Dogra, P. D. 1967. Seed sterility and disturbances in embryogeny in conifers with particular reference to seed testing and tree breeding in *Pinaceae*. Studia forest. Suecica 45.

Eis, S., Garman, E. H., and Ebell, L. F. 1965. Relation between cone production and diameter incremet of Douglas fir (*Pseudotsuga Menziesii* (Mirb.) Franco), Grand fir (*Abies grandis* (Dougl.) Lindl.), and Western white pine (*Pinus monticola* Dougl.). Canadian journal of botany 43: 1553—1559.

Eisenhut, G. 1961. Untersuchungen über die Morphologie und Ökologie der Pollenkörner heimischer und fremdländischer Waldbäume. Beihefte z. Forstwiss. Centralbl. 15.

Etverk, I. 1967. Kuuse seemneaasta Eestis aastail 1964/65. Metsanduslikud uurimused V.

Falconer, D. S. 1964. Introduction to quantitative genetics. Edinburgh and London.

Fielding, J. M. 1960. Branching and flowering characteristics of Monterey pine. Forestry and Timber Bureau, Canberra, Bulletin No. 37.

Fowler, D. P. 1964. Pre-germination selection against a deleterious mutant in Red pine. Forest science 10: 335—336.

—»— 1965. Effects of inbreeding in Red pine, *Pinus resinosa* Ait. IV. Comparison with other Northeastern *Pinus* species. Silvae genetica 14: 76—81.

Hagem, O. 1917. Furuens og granens frøsaetning i Norge. Medd. Vestlandets Forstl. Fors.-stat.

Hagner, S. 1955. Iakttagelser över granens kottproduktion i norrländska höjdlägen kottåret 1954. Norrl. Skogsv. förb. tidskr. 181—206.

—»— 1965a. Cone crop fluctuations in Scots pine and Norway spruce. Studia forest. Suecica 33.

—»— 1965b. Variation and size of the random samples when measuring seed fall, cone

setting, and stocking. (orig. Swedish with English summary). Studia forest. Suecica 28.

Heikinheimo, O. 1932. Über die Besamungsfähigkeit der Waldbäume I (orig. Finnish with German summary). Comm. Inst. forest. Fenn. 17.

—»— 1937. Über die Besamungsfähigkeit der Waldbäume II (orig. Finnish with German summary). Comm. Inst. forest. Fenn. 24.

—»— 1948. On the seeding capacity of forest trees III (orig. Finnish with English summary). Comm. Inst. forest Fenn. 35.

Håkansson, A. 1956. Seed development of *Picea abies* and *Pinus silvestris*. Medd. Stat. Skogsforskn. inst. 46.

Johnson, L. P. V. 1945. Reduced vigour, chlorophyll deficiency, and other effects of self-fertilization in *Pinus*. Canad. jour. research 23 C: 145—149.

Jurkevitsh, I. D., Lubjako, M. N., Kruglikov, G. G. 1940. The seed crop of pine and spruce in the forests of White-Russia (in Russian). Sbornik rabot po lesnomu hozjaistvu I. Minsk.

Langner, W. 1959. Selbstfertilität und Inzucht bei *Picea Omorika* (Pančič) Purkyne. Silvae genetica 8: 84—93.

Mergen, F., Burley, J., and Furnival, G. 1965. Embryo and seedling development in *Picea glauca* (Moench) Voss after self-, cross-, and wind-pollination. Silvae genetica 14: 188—194.

Miyake, K. 1903 a. On the development of the sexual organs and fertilization in Picea excelsa. Annales of Botany 7: 351—372.

—»— 1903 b. Contribution to the fertilization and embryogeny of Abies balsamea. Beih. bot. Centralbl. B 14: 134—144.

Mork, E. 1933. Temperaturen som foryngelsesfaktor i de nordtrønderske granskoger. Medd. fr. Det norske skogforsøksvesen 5.

Müller-Olsen, C., Simak, M., and Gustafsson, Å. 1956. Germination analyses by the x-ray method: *Picea Abies* (L.) Karst. Medd. Stat. Skogsf. anst. 46.

Rummukainen, U. 1960. Über Reichlichkeit und Art der Samenschäden bei der Fichte (orig. Finnish with German summary). Comm. Inst. forest. Fenn. 52.

Sarvas, R. 1953. Measurement of the crown closure of a stand. Comm. Inst. forest. Fenn. 41.

—»— 1957. Studies on the seed setting of Norway spruce. Medd. fra Det norske Skogforsøksvesen 48.

—»— 1962. Investigations on the flowering and seed crop of *Pinus silvestris*. Comm. Inst. forest. Fenn. 53.

—»— 1967. The annual period of development of forest trees. Proceed. of the Finnish Academy of science and letters 1965.

Scamoni, A. 1938. Über Eintritt und Verlauf der männlichen Kiefernblüte. Zeitschr. Forst-u. Jagdw. 70: 289—315.

Siegl, H. 1953. Untersuchungen über den Samenertrag der Fichte im Herbst 1951. Forstwiss. Cbl. 72: 369—379.

Skoklefald, S. 1966. Frøfall i granskog. Norsk skogbruk: 187—193.

Soboleff, A. N. and Fomitzeff, A. W. 1908. Der Samenertrag der Bestände (orig. Russian with German summary). Die Beilage zum XVIII Bande der Mitteilungen des Kaiserlichen Forstinstitutes zu St.-Petersburg.

Strasburger, E. 1869. Die Befruchtung bei den Coniferen. Jena.

Sylvén, N. 1910. Om pollineringsförsök med tall och gran. (Über Bestäubungsversuche mit Kiefer und Fichte). Medd. Stat. Skogsf. anst. 7.

Tirén, L. 1935. Om granens kottsättning, dess periodicitet och samband med temperatur och nederbörd. (On the fruit setting of spruce, its periodicity and relation to temperature and precipitation.) Medd. Stat. skogsf. anst. 28.

Waldron, R. M. 1965. Cone production and seedfall in a mature White spruce stand. The Forestry chronicle 41: 314—329.

Ürgenç, S. 1965. Studies on the cone and seed of Oriental spruce (*Picea orientalis* Lk. Carr.). In turkish with english summary. T. C. Tarim Bakanligi. Orman Genel Müdürlügü Yaymlarindan 417, 40.

Suomenkielinen selostus

Käsillä oleva tutkimus on kysymyksenasetteluiltaan ja menetelmiltään suuressa määrin samankaltainen kuin tekijän aikaisemmin (1962) julkaisema tutkimus *Pinus sylvestris*in kukkimisesta ja siemensadosta. *Pinus sylvestris* ja *Picea Abies* ovat Suomen metsien tärkeimmät puulajit, minkä vuoksi on jo ollut käytännön metsätalouden tarpeita ajatellen aiheellista laajentaa ja syventää tietoja kummankin puulajin kukkimisbiologiasta ja siemensadon muodostumisesta. *Pinus sylvestris*tä koskevassa tutkimuksessa osoittautui, että tämän puulajin kukkimismekanismia on kokonaisuutena tarkasteltuna ja erityisesti geenin vaihtoa silmällä pitäen pidettävä kehittyneenä ja tehokkaana, tehokkaampana kuin ehkä yleisesti ajatellaan. Tämä antoi aihetta epäillä, että ehkä havupuut yleisemminkin edustavat varsin tehokasta geneettistä järjestelmää. Perehtymällä tässä suhteessa yksityiskohtaisesti toiseen havupuuhun, joka edustaa *Pinus sylvestris*istä huomattavasti poikkeavaa puusukua *Picea*a, tosin samaan Abitaceiden ryhmään luettavaa, toivottiin saavutettavan laajempi näkökulma eräisiin jo *Pinus sylvestris*tä koskevassa tutkimuksessa heränneisiin ajatuksiin ja käsityksiin.

Geenin vaihdon tehokkuutta harkittaessa kiintyy huomio erityisesti itsehedelmöitykseen ja sukulaishedelmöitykseen, koska itsehedelmöitys on geenin vaihdon kannalta tehoton ja sukulaishedelmöitys vähätehoinen.

Käsillä olevassa tutkimuksessa on ilmennyt, ettei *Picea Abies*illa, kuten ei *Pinus sylvestris*illäkään, ole mitään varsinaisia syngamia edeltäviä incompability esteitä itsehedelmöitystä vastaan. Kummallakin puulajilla emikukat ovat kuitenkin reseptiivejä aikaisemmin kuin saman puun heteiden ponnet aukeavat (metandria), mikä tietysti vähentää itsepölytyksen todennäköisyyttä. Kuitenkin emikukat ovat receptiivejä vielä silloinkin, kun saman puun heteiden ponnet tyhjenevät siitepölystä, mistä syystä metandria yksinään tuskin muodostuisi kovinkaan tehokkaaksi esteeksi itsepölytykselle. Metandrian tehokkuutta lisää suuresti siemenaiheiden pölykammion rajoitettu tilavuus. Tutkimusalueella *Picea Abies*in pölykammioon mahtuu keskimäärin 5.1 ± 0.17 siitepölyhiukkasta. *Pinus sylvestris*illä vastaava luku on tutkimusalueella 2.1 siitepölyhiukkasta. *Picea Abies*in pölykammio on siis yli kaksi kertaa niin suuri kuin *Pinus sylvestris*in, mistä syystä on aihetta otaksua, että metandrian itsepölytystä ehkäisevä vaikutus ei *Picea Abies*illa muodostu niin tehokkaaksi kuin *Pinus sylvestris*illä.

*Picea Abies*illa on samantapainen moniarkegoniojärjestelmä kuin *Pinus sylvestris*illäkin, arkegonioita vain on keskimäärin enemmän siemenaihetta kohden (2.8 — 3.4 kpl; *Pinus sylvestris*illä 2.1 kpl.) Moniarkegoniojärjestelmästä on seurauksena, että varsinkin milloin pölytys on runsas, useissa siemenaiheissa hedelmöittyy enemmän kuin yksi munatuma. Tästä taas on seurauksena usean alkion kehittyminen siemenaiheeseen. Näin syntyvällä monialkioisuudella on kahdenlainen merkitys: 1. embryoabortti ei välttämättä johda siemenaiheen aborttiin, 2. embryo-ontelossa syntyy alkioiden välillä kilpailua. Tarkastelkaamme ensin kohtaa 1.

Samoin kuin *Pinus sylvestris*illä, embryoabortti on *Picea Abies*illakin hyvin yleinen. Sen pääasiallisena syynä on pidettävä, kuten *Pinus sylvestris*illäkin, alkioiden

homotsygoottisuutta letaalien geenien suhteen. Tällaisen homotsygotian mahdollisuus on olemassa kaikkien tsygoottien kohdalla, mutta sukulaihedelmöitys ja varsinkin itsehedelmöitys lisää suuresti sen todennäköisyyttä. Embryoaborttien suhteellisen määrän korkeus sekä *Picea Abies*illa että *Pinus sylvestris*illä herättää huomiota; tutkituissa metsiköissä noin neljännes kaikista tsygooteista kuolee embryoaborttiin. Tämä määrä on niin korkea, että se ehkä riittää eliminoimaan itsehedelmöityksestä syntyneet tsygootit suurimmaksi osaksi ja suuren osan sukulaishedelmöityksestäkin syntyneistä.

Käsillä olevassa tutkimuksessa pyrittiin selvittämään myös erityisesti, missä alkion kehitysvaiheissa embryoabortti pääasiassa tapahtuu. Tätä varten alkion kehitys jaettiin eri vaiheisiin ja tutkittiin, paljonko embryoabortista lankeaa eri kehitysvaiheiden osalle. Tulos osoitti seuraavaa: vaihe 1. syngami juuri tapahtumassa 4.7 %, vaihe 2. tsygootti ei jakaantunut 41.6 %, vaihe 3. tsygootti jakaantunut kahdesti 38.7 %, vaihe 4. tsygootti jakaantunut enemmän kuin kaksi kertaa 15 %. Kohdat 1—3 luettiin varhaisabortiksi ja kohta 4. myöhäisabortiksi. Varhaisabortin määrä nousi 85 %:iin koko embryoabortista. Lähes puolet embryoabortista tapahtuu siis jo ennen kuin tsygootti on edes kertaakaan jakaantunut.

Tulosta voidaan spekuloida monella tavalla. Varsin yksinkertaista olisi esim. otaksua, että useimmat letaaligeenit ovat niin vahingollisia, että niiden letaalisuus näyttäytyy jo tsygootin kehityksen ensi vaiheissa.

Voidaan myös lähteä olettamuksesta, että embryoabortilla on tietty myönteinen tehtävä *Pinus sylvestris*in ja *Picea Abies*in geneettisessä järjestelmässä. Se ilmeisestikin varsin tehokkaasti eliminoi itsehedelmöityksestä ja sukulaishedelmöityksestä syntyneitä tsygootteja täten raivaten tietä vierashedelmöitysalkioille lopputuloksena geenin vaihdon tehostuminen.

Tällaisen työhypoteesin puolesta puhuu ehkä embryoabortin korostettu keskittyminen välittömästi syngamin yhteyteen, missä siitä on vähiten haittaa siemenaiheen myöhemmälle suotuisalle kehitykselle. Tässä yhteydessä kannattaa myös panna merkille, että senkaltainen embryoaborttijärjestelmä, jonka tapaamme *Pinus sylvestris*illä ja *Picea Abies*illa, on ilmeisesti suhteellisen herkästi tuhoutuva. Itsehedelmöityksen ja sukulaishedelmöityksen varaan jääminen on ilmeisestikin tälle järjestelmälle kohtalokas. Tähän viittaa myös se, että useilla havupuilla, jotka viimeisen jääkauden aikana säilyivät vähäalaisissä pakopaikoissa, tätä järjestelmää ei tavata. Esimerkkeinä voitaneen mainita L a n g n e rin (1959) *Picea Omorika*a koskevat tutkimustulokset ja F o w l e rin (1964) *Pinus resinosa*a koskevat. Allekirjoittaneen tutkimista puulajeista näyttäisivät myös *Pinus Cembra* ja *Pinus Peuce* kuuluvan tähän »köyhtyneiden» ryhmään.

Tällaisen tulkinnan mukaan *Picea Abies*in (ja *Pinus sylvestris*in) korkea kuormitus letaaligeeneillä, jotka aiheuttavat embryoabortin välittömästi syngamin yhteydessä, olisi siis toiminnallisesti verrattavissa angiospermien oman siitepölyn omalla luotilla itämistä ehkäiseviin monialleelijärjestelmiin. Nyt puheena oleva letaalikuormitus ei ilmeisestikään eliminoi yhtä tehokkaasti itsehedelmöitystä kuin angiospermien monialleelijärjestelmät, mutta eliminoi ehkä tehokkaamminkin sukulaishedelmöityksen. Olemme jo aikaisemmin todenneet, että metandria ja pölykammion rajoitettu tilavuus asettavat itsepölytykselle varsin tehokkaan esteen, mutta eivät sukulaispölytykselle. Kun luonnonsiemennyksestä syntyneissä metsissä puut siemenen suhteellisen heikon leviämiskyvyn johdosta kasvavat suuressa määrin sukulaisryhminä, on nähtävästikin juuri sukulaishedelmöitys eniten geenin vaihtoa heikentävä hedelmöityksen muoto. Nimenomaan *Picea Abies*-metsissä voidaan odottaa läheisten puiden olevan ehkä enemmänkin sukulaisia keskenään kuin *Pinus sylvestris*-metsissä, koska *Picea Abies*

yleisesti uudistuu emopuuston alle, *Pinus sylvestris* sitä vastoin tavallisimmin kuloaloille säästyneistä puista tai reunametsistä.

Samansuuntaisesti kuin embryoabortti vaikuttaa alkio-ontelossa käytävä alkioiden välinen kilpailu. Olemme edellä nähneet, että *Picea Abies*illa ei metandrian teho suuremman pölyontelon vuoksi ilmeisestikään ole yhtä suuri kuin *Pinus sylvestris*illä; sen vastapainona *Picea Abies*illa syntyy siemenaiheisiin keskimäärin enemmän alkioita kuin *Pinus sylvestris*illä ja alkio-ontelossa käytävä kilpailu muodostuu tästä syystä kovemmaksi. Kuitenkin, milloin pölytys on heikko, alkioita syntyy siemenaihetta kohden monista arkegonioista huolimatta vähän, ja kilpailu jää vähäiseksi.

Heikon pölytyksen vaikutus on *Picea Abies*illa toisestakin syystä geneettisesti kielteisempi kuin *Pinus sylvestris*illä. Jälkimmäisellä puulajilla heikosti pölyttyneet emikukinnot varisevat pois ensimmäisen kasvukauden kuluessa, *Picea Abies*illa eivät.

Kaikesta tästä on seurauksena, että *Picea Abies*illa siemensadon geneettinen laatu todennäköisesti vaihtelee pölytyksen runsaudesta riippuen enemmän kuin *Pinus sylvestris*illä. Heikoissa siemensadoissa, jotka yleisesti ovat syntyneet heikon pölytyksen tuloksena, esiintyy itsehedelmöityksen ja varsinkin sukulaishedelmöityksen vaikutus runsaimpana ja ilmeisesti runsaampana kuin *Pinus sylvestris*illä. Tämä on eräs syy, minkä vuoksi nimenomaan *Picea Abies*illa siemenen keruu on syytä keskittää huippusatoisiin vuosiin.

Tutkimuksen tärkeimmät tulokset ovat lyhyesti kerrattuina seuraavat.

Hedekukkimisen runsautta tutkittiin mittaamalla siemennysmittareilla alas varisevien hedekukintojen tähteiden määrä. Kertomalla tähteiden kuivapaino n. 2:lla saadaan niistä varisseen siitepölyn määrä. Hedekukintojen tähteiden usean vuoden keskiarvon ja metsikön valtapituuden regressio (kuva 4, s. 12) osoittaa, että hedekukintojen määrä lisääntyy suuresti puuston valtapituuden kasvaessa.

Anteesin vuotuista kulkua tutkittiin epäsuorasti mittaamalla rekisteröivillä mittareilla takertuman tuntikeskiarvot. Tarkasteltaessa anteesia, ei ajan, vaan lämpösumman funktiona takertuman lämpösummajakaantuma lähentelee runsaina kukkimisvuosina normaalijakaantumaa (kuvat 6, 7 ja 8, s. 19, 20 ja 21). Tuuli ja sateet aiheuttavat kuitenkin jakaantumassa epäsäännöllisyyksiä.

Takertuman absoluuttista määrää tutkittiin pallon muotoisilla takertuman mittareilla (Ø 3 cm). Takertuman ja siitepölyn tuotannon regressio määritettiin likimääräisesti (kuva 13, s. 29).

Emikukkimisen runsaus tutkimusmetsiköissä selvitettiin lukemalla emikukinnot kunkin tutkimusmetsikön puustoa edustavasta näytteestä (40—60 arvottua pystypuuta). Tulosten perusteella laskettiin emikukintojen keskimääräisen vuotuisen lukumäärän ja puuston valtapituuden regressio (kuva 14, s. 31). Regressiosta ilmenee, että emikukintojen määrä lisääntyy voimakkaasti puuston valtapituuden kasvaessa.

Emikukintojen pölyttymistä selvitettiin lukemalla preparoimismikroskooppia apuna käyttäen edustavasta näytteestä siemenaiheiden mikropylen torven suulle takertuneet siitepölyhiukkaset. Lukeminen suoritettiin heti, kun anteesin huippu oli sivuutettu. Siemenaiheiden saamien siitepölyhiukkasten ja takertuman regressio selvitettiin (kuva 15, s. 35). Mitä suurempi takertuma, sitä runsaammin siemenaiheiden mikropylen suulle oli kerääntynyt siitepölyä. Suurilla takertuman arvoilla siemenaiheiden keskimäärin saama siitepölyn määrä nousi jopa 30 hiukkaseen siemenaihetta kohden.

Siitepölyn siirtyminen mikropylen suulta pölykammioon tapahtuu pölytyspisaran avulla. Näyttää todennäköiseltä, että sama siemenaihe voi erittää peräkkäisinä vuorokausina useita pölytyspisaroita, yhden kunakin vuorokautena (yleensä yöllä). Pölytys-

pisarajärjestelmä näyttää helposti tuhoutuvan kuusen kukkimisaikaan melko yleisten hallojen vaikutuksesta.

Pölykammioon joutuneiden siitepölyhiukkasten määrä selvitettiin tutkimalla siemenaiheista tehtyjä, n. 0.01 mm:n paksuisia leikkauksia. Tulokset osoittivat, että pölykammiosta löytyvien siitepölyhiukkasten lukumäärä on yleisesti hyvin paljon pienempi kuin samoina vuosina kyseisissä metsiköissä siemenaiheiden mikropylen suulta luetut siitepölymäärät. Tähän on syynä pölykammion rajoitettu tilavuus. Suurin keskimäärätulos oli 5.1 ± 0.17 hiukkasta (Bromarvin tutkimusmetsikkö I v. 1964).

Nyt mainitusta syystä pölykammioiden saamat siitepölymäärät eivät ole suoraan verrannollisia takertuman määrään eivätkä liioin siemenaiheiden suulle takertuneiden siitepölyhiukkasten määrään. Kuitenkin, sitä mukaa kuin takertuma kasvaa, pölykammioiden keskimäärin saama siitepölymäärä kasvaa saavuttaen lopulta ylimmän arvon 5.1, jota se ei voi juuri ylittää. Jakautuma ei ole läheskään normaali. Tämä johtuu ilmeisesti ennen muuta siitä, että kukkimisaikana tuulen suunta on suuressa määrin muuttumaton aiheuttaen sen, että toinen puoli emikukinnosta pölyttyy hyvin paljon runsaammin kuin toinen. Silmävaraista tasoitusta käyttäen kuvattiin jakaantuma (kuvat 17 ja 18, s. 39 ja 40).

Siitepölyn itävyys selvitettiin tutkimalla pölykammioista tehtyjä mikroskooppisia leikkauksia. Osoittautui, että siitepölyn itävyys sen luonnollisella itämisalustalla, nukelluksen kärjellä, oli erittäin hyvä vaihdellen 86:sta 99 %:iin.

Siemenaiheiden kehityksen tutkiminen aloitettiin selvittämällä arkegonioiden lukumäärä. Tätä varten tehtiin mikroskooppileikkauksia edustavasta näytteestä siemenaiheita. Arkegonioiden keskimääräinen luku vaihteli 2.8:sta 3.4:ään. Pienimmät arkegoniomäärät luettiin karuilla kasvupaikoilla ja suurimmat viljavilla kasvupaikoilla kasvavien metsiköiden näytteistä. Vuotuinen vaihtelu arkegonioiden lukumäärässä ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Arkegonioiden lukumäärä ei riippunut pölytyksen runsaudesta.

Syngamin kulkua tutkittiin lämpösumman funktiona. Syngamin lämpösummajakaantuma osoittautui kutakuinkin normaaliksi.

Siiteputken kasvua ja hedelmöittymistä koskevat selvitykset eivät paljastaneet compatibility-esteitä pölytyksen ja hedelmöityksen välillä. Sitä vastoin syngamissa ja sen jälkeen esiintyvä korkea alkioabortti voidaan tulkita tällaiseksi. Alkioabortti keskittyy pääasiassa syngamiin ja sitä välittömästi seuraaviin kehitysvaiheisiin (rusettivaiheeseen) nousten 20—40 %:iin kaikista hedelmöityksistä.

Kun samassa siemenaiheessa hedelmöittyy useita arkegonioita, mikä varsinkin runsaan pölytyksen seurauksena on yleistä (n. 70 % siemenaiheista), nousee siemenaiheen alkio-ontelossa myöhemmin kilpailu vitaalien embryoiden välillä. Tämä on periaatteessa olennaisesti eri ilmiö kuin alkioabortti, jossa defektit alkiot kuolevat omaan elinkyvyttömyyteensä. Alkio-ontelossa käytävällä kilpailulla on useassa tapauksessa geneettisen valinnan luonne.

Siemenaiheet, jotka eivät pölyty, kehittyvät tästä huolimatta siemeniksi, tyhjiksi siemeniksi. Tyhjää siementä kehittyy myös seurauksena alkioabortista (milloin samassa alkio-ontelossa ei ole yhtään vitaalia alkiota). Tyhjän siemenen määrän riippuvuus takertumasta ja alkiokuolleisuudesta selvitettiin (kuvat 20 ja 21, s. 59 ja 60).

Siemensadon määrä ja sen laatu tutkimusmetsiköissä selvitettiin siemennysmittareilla. Siemensadon (täydet ja tyhjät siemenet yhteensä) ja metsikön valtapituuden regressio (kuva 22, s. 64) osoitti, että puuston siementämiskyky lisääntyysuuresti valtapituuden kasvaessa. *Picea Abiesin* lajittelemattoman siemenen sato osoittautui olevan n. 4 kertaa niin suuri kuin vastaavan viljavalla kasvupaikalla kasvavan *Pinus sylvestris*-metsikön.

Siemensadon laatua tutkittiin selvittämällä tyhjäsiemensadannes ja täysien siementen kuivapaino.

Tyhjäsiemensadannes määritettiin röntgenvalokuvaamalla siemenet. Kaikkien tutkimusmetsiköiden ja kaikkien tutkimusvuosien keskimääränä tyhjäsiemensadannes nousi 67 %:iin. Tämä on korkeampi kuin aikaisemmissa tutkimuksissa saadut tulokset, mikä johtunee erilaisten tuhojen vikuuttamien siementen ehkä aikaisempaa tarkemmasta talteenotosta ja ehkä myös röntgenvalokuvauksen tarjoamasta aikaisempaa suuremmasta tutkimustarkkuudesta.

Tyhjän siemenen suuresta määrästä johtuu, että *Picea Abies*in tehoisa siemennyskyky ei ole läheskään niin suuri kuin kokonaissiemensadoista ehkä voisi päätellä. Itse asiassa tehoisa siemennyskyky on samaa suuruusluokkaa kuin *Pinus sylvestris*in vastaavan viljavilla kasvupaikoilla kasvavissa metsiköissä.

Täyden siemenen painoa koskevat tutkimukset antoivat tulokseksi 1000 siementä kohden 4.75 g.

WEIGHT AND COMPOSITION OF THE BRANCHES OF LARGE SCOTS PINE AND NORWAY SPRUCE TREES

PENTTI HAKKILA

JÄREITTEN MÄNTY- JA KUUSIPUITTEN OKSIEN PAINO JA KOOSTUMUS

HELSINKI 1969

Helsinki 1969. Valtion painatuskeskus

PREFACE

The Department of Forest Technology, Finnish Forest Research Institute, took the first step towards the study of branches and branchwood in spring 1967 when it started to collect material for an analysis of the quantity and properties of branches of Scots pine and Norway spruce in South Finland. In this phase the study was confined to branches of large trees as they were thought to be most suitable as industrial raw material from the point of view of harvesting and processing technology.

The problem began to attract increasing attention when a study on the utilisation of logging residues was included in the joint Nordic forest technology research project recommended by the Nordic Council. This opened up new opportunities for studying branches and branchwood. The project was broadened to include studies of the quantity and technical properties of branches of smaller trees, birch and forests in North Finland. Experiments with the harvesting and industrial utilisation of branches will come to be important in time.

Because of the broadening of the project, the presentation of this part study as a separate work is outside the scope of the joint Nordic project. But the decision to publish was taken because it is considerably ahead of other studies of the same project.

The field work was performed by Mr Teuri J. Salminen assisted by Mr Karl Erik Malmberg. Most of the laboratory work, calculations and typing was done by Mrs Taija Havanto, Mrs Kaarina Koskinen, Miss Irma Kumpulainen, Mrs Arja Panhelainen, Miss Sirkka Renfors and Mrs Aune Rytkönen. The additional material concerning the variation of the technical properties within and between the spruce branches was collected and analysed by Mrs Aili Ylinen. The Finnish State Computer Centre processed the data.

The manuscript was checked by Professor, Dr. Veijo Heiskanen and Professor, Dr. Yrjö Vuokila. Associate Professor, Dr. Olli Makkonen and Mr Pentti Rikkonen assisted with advice. The Finnish manuscript was translated into English by Miss Päivikki Ojansuu and checked by Mr L. A. Keyworth.

My best thanks are due to all the persons listed above.

Helsinki, April 1969

Pentti Hakkila

CONTENTS

	Page
1. Introduction	5
2. Methods	8
3. Material	10
4. Results	12
41. Weight of the branches	12
411. Green weight of the branches	12
412. Dry weight of the branches	13
413. Branch dry weight in per cent of stem dry weight	18
42. Composition of the branches	19
43. Technical properties of branchwood	23
431. Diameter distribution	23
432. Moisture content	25
433. Bark percentage	26
434. Basic density	27
5. Summary	31
Literature	33
Yhdistelmä	36

1. INTRODUCTION

The logging residue statistics are compiled primarily for the calculation of the annual cut in Finland's forests. They therefore take into account only the stemwood left in the forest, which makes the amount of logging residues appear to be very modest. Even when the small stems cut in precommercial thinnings are included, the share of pine and spruce logging residues in South Finland is only 5 per cent, according to preliminary information from an investigation in progress at the Finnish Forest Research Institute.[1])

Study of the utilisation of logging residues cannot be restricted to unmerchantable top, defective parts of stem and small stems cut in precommercial thinnings. Bark, branches, stumps and roots must also be taken into consideration, and the the stem volume whithout bark can no longer be used as the starting point for calculations; this must be the biomass of the whole tree. Working on this basis, the true amount of logging residues is considerable. This is exemplified in the following table presented by Baskerville (1966) for a 40—50-year *Abies balsamea* stand in New Brunswick.

Tree component	Number of stems per hectar		
	1 750	5 000	12 500
	Weight proportion, per cent		
Foliage	12.8	11.0	9.8
Branch wood	8.0	5.7	4.5
Branch bark	5.7	4.4	3.6
Cones	0.4	0.4	0.2
Stem wood	44.8	48.4	51.4
Stem bark	6.6	6.9	7.2
Roots	21.7	23.2	23.3
Total	100.0	100.0	100.0

Logging residues are thus in reality a much greater problem than statistics would suggest. It can be said that logging residues constitute the last major potential raw material reserve available to the Finnish forest industry. As long as the supply of stemwood has been sufficient, there has been no real need to utilise logging residues for they are inferior to stemwood in

[1]) Pertti Mikkola, Finnish Forest Research Institute, oral communication.

their technical properties and their harvesting costs can be expected to be high. This is why they have not been a research object, and there is no satisfactory information even on their quantity. In the last few years, however, since the pulpwood resources of Finland have proved inadequate for the expanding capacity of industry and as new logging methods seem to promise the possibility of recovering logging residues, the problem has assumed new aspects.

The utilisation of branches, stumps and roots is a complex problem which can be divided into several separate projects. First, however, we must try to ascertain the real amount of logging residues and their technical properties. The investigation method to be applied will depend essentially on the use it might be possible to find for branches in the future. Some examples are given here of studies concerned with the possible uses of branches and branchwood.

Young and Chase (1965) determined the yield and quality of sulphite pulp prepared from branches of eastern red spruce and sulphate pulp from branches of maple and birch in Maine. An extremely high percentage of screen rejects and a hard screened pulp with a low yield were obtained from red spruce branches compared with the stemwood pulp. The yields and the properties of the pulps from birch and maple branches, on the other hand, were similar to those of the corresponding stemwood pulps. Alestalo and Hentola (1966) made sulphate pulp from unbarked branches of Scots pine and Norway spruce in Finland. The pulps were comparable in their strength properties with lower quality stemwood pulps. A special characteristic of branchwood pulps was their remarkably high stretch. The pulp yields were significantly lower than those of stemwood, even when the proportion of bark was taken into consideration. Worster and Vinje (1968) made kraft pulp of debarked tops and branches of two mature western hemlock trees in Canada. The chips prepared from branches, compared with the stem chips, required considerably more active alkali and gave a lower yield of pulp with similar or lower strength properties and more shives and dirt. A great disadvantage of sulphate pulps cooked from the chips of small-sized pine and spruce trees including branches is the poor lightness of the pulp (Lindholm 1968). Thus, it has been established that usable pulp can be prepared from branches, but the yield and quality of the pulp are poorer than that obtained from stemwood.

Tests in the Soviet Union have shown that logging residues can be used in the production of fibreboard and particle board. Fibreboard made from logging residues has strength properties which are superior even to those of stemwood boards and, with the exception of fibreboard made of birch logging residues, all other boards meet the standard requirements (Voronicyn and Pavlov 1968). Correspondingly, the physical and

mechanical properties of fibreboard made from branchwood of *Salix alba* justify its use for this purpose (F i l l ó 1964).

K a l n i n š and J e v i n (1968) point out the importance of the use of the entire biomass, not only the wood but also the green matter. Leaves, needles and young shoots can thus be used as raw material for carotene, chlorophyll, essential oils, vitamin meal and other products.

In organising an investigation of the quantity and properties of logging residues, the problems to be analysed are decided by the industrial uses to which these residues can be put. For branches in particular, it seems important to find out the dry matter distribution between wood, bark and needles. The next objective is the quantity and technical properties of branchwood.

The amount of raw material is usually expressed in terms of unit volume in forest research. Tables based on certain external characteristics have been compiled for the assessment of branches and branchwood. Examples are Ž u f a ' s (1963) tables for *Salix alba*, K o č a r e v ' s (1964) tables for *Juglans regia* and Ř e h á k ' s (1964) tables for Scots pine, Norway spruce and poplar. However, these tables are not always satisfactory (cf. L e d v i k 1965). The volume of the branches of certain tree species can be calculated from equations based on the length and mid-diameter of the branch (G o l i k o v and F a l a l e e v 1966), but in practice the volume of branches and branchlets can only be measured with a xylometer. Hence, as branch volume is difficult to measure and as the dry weight of the branches is a better indicator of their raw material content than volume, the best solution seems to be to weigh the branches.

Recovery of branches may be economically profitable in connection with whole-tree logging, a method which is suitable primarily for clear cutting. Obviously, too, the branches of large trees make more suitable raw material for the fibre industries than those of smaller trees. For these two reasons, the investigation was limited to the Scots pine *(Pinus silvestris* L.) and Norway spruce *(Picea abies* (L.) Karst.) sawtimber trees of the clear cutting areas of South Finland. Within this limitation, the following points were studied:

— The weight of branches in kilograms per tree and in per cent of the stem weight;
— The composition of the branches or the weight proportions of wood, bark and needles;
— Some technical properties of branchwood.

2. METHODS

The branches and unmerchantable tops of the sample trees were recovered and classified as accurately as possible. The part of each branch that met the diameter requirement of a certain class was entered in this class of living branches. Parts of an individual living branch could thus be entered in several different classes, depending on the size of the branch. The classification was as follows:

a — Living branches

- — Diameter above bark up to 1.0 cm (including the needles)
- — Diameter above bark 1.1—2.0 cm
- — Diameter above bark 2.1—4.0 cm
- — Diameter above bark 4.1—6.0 cm
- — Diameter above bark 6.1—8.0 cm
- — Diameter above bark 8.1+ cm

b — Dead branches

c — Unmerchantable top without branches when the minimum diameter of pulpwood was 5 cm and the minimum length 1 m.

The branches of each diameter class were weighed green. After that, 5—10 samples approx. 5 cm long were taken from each branch diameter class of each stem and the moisture content and bark percentage by weight were determined. In addition, the proportion of needles was determined from living branches of the under 1.1 cm class. It was possible with the help of these data to calculate the amount of dry matter of wood, bark and needles in each class. The basic density of branchwood was also determined from the same samples.

Various characteristics of the sample trees were measured. The most important of these was the dry weight of stem, for which both stem volume and average basic density had to be known. The latter was obtained from two increment cores, one taken at breast height and the other at $\frac{1}{4}$-height of the stem. The basic density of the cores was converted to the average basic density of the whole stem by the formulae presented by Hakkila (1966, pp. 46 and 48).

Regression analysis was the basic statistical procedure. The dependent variables used included the weight of the branches, branchwood, branch bark and needles in kilograms per stem, or in per cent of the weight of stem. Different external tree characteristics and their transformations were tried as independent variables. The data were processed as a stepwise, selective regression analysis programme in the Elliott 503-computer of the Finnish State Computer Centre.

3. MATERIAL

Both the pine and the spruce materials were collected from nine South Finnish stands from each of which five sample trees were cut (Fig. 1). The total material per tree species was thus 45 trees. The material was collected in the summer when the number of needles is greater than in the winter.

As mentioned in the introductory chapter, the investigation was limited to sawtimber trees of clear cutting areas. With a few exceptions, the sample plots were therefore selected from stands which were to be cut open in the following winter. Because of the practical organisation of the field work, most of the sample stands were located in forests of the Finnish Forest Research Institute, some in forests owned by the forest industry. The material was thus obtained from forests in which the trees generally have finer branches than average. Farm forests are excluded from the material.

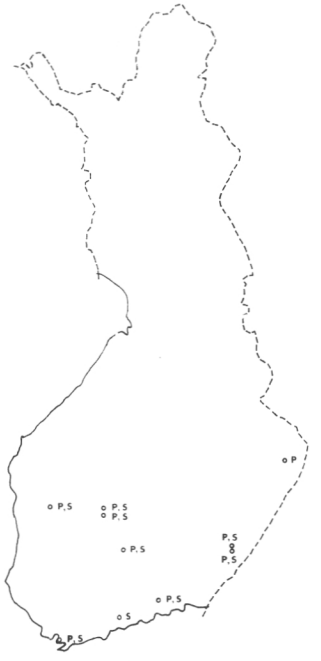


Fig. 1. Location of sample stands. Five trees per species were analysed in each stand (P = pine, S = spruce).

Kuva 1. Koealojen sijainti. Jokaisessa metsikössä tutkittiin viisi puuta puulajia kohti (P = mänty, S = kuusi).

The pines derived chiefly from *Vaccinium* and *Myrtillus* forest site types, while the spruce sample stands represented slightly more fertile sites, chiefly *Myrtillus* but partly also *Vaccinium* and *Oxalis-Myrtillus* forest site types. Most of the sample stands were located in mixed forests of pine and spruce. The average measurements and properties of the sample trees are shown in Table 1.

Almost all the sample trees were over-aged. The stem volume was significantly higher than the average for South Finland where the average size of softwood sawtimber trees cut in 1967—1968 was 0.48 solid cu.m. (Savolainen 1968). It is impossible to draw more detailed conclusions from the size of the branches and

Table 1. Average measurements and properties of sample trees
Taulukko 1. Koepuitten keskimääräiset mitat ja ominaisuudet

Property — *Ominaisuus*	Pine — *Mänty*		Spruce — *Kuusi*	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Age, years — *Ikä, vuotta*	115	37	102	24
Dbh, cm — $D_{1.3}$, *cm*	32	6	29	5
Height, m — Pituus, m	21	4	21	3
Volume, cu.m including bark — *Tilavuus kuorineen, k-m³*	.875	.427	.712	.349
Dry weight, kg including bark — *Kuivapaino, kg kuorineen*	356	179	275	134
Crown ratio, per cent — *Latvussuhde, %*	53	13	79	11
Thickest branch, mm — *Paksuin oksa, mm*	59	14	39	7
Longest branch, m — *Pisin oksa, m*	3.3	0.8	3.0	0.6
Branch class — *Oksaisuusluokka*	2.0	1.0	2.8	0.7
Basic density, kg/cu.m — *Puuaineen tiheys, kg/k-m³*	421	26	388	26

the branch class for no averages are available. Moreover, branch classification is always more or less subjective.

In addition to the principal material, a thorough study was made also of the technical properties of branchwood in three spruce trees. This has been described in greater detail by Ylinen (1969). The aim was to throw light on the variation within and between the branches in the bark percentage, moisture content, basic density and some other properties.

4. RESULTS

41. Weight of the branches

411. Green weight of the branches

As the aim of the study was to find out the amount of raw material contained in branches, the main point of attention was the dry weight of the branches and branchwood. Green weight also has a certain importance in timber harvesting — for instance, it affects the total weight of the load in whole-tree logging. Accordingly, the green weight of the branches of pine and spruce sawtimber trees is briefly examined first, followed by a detailed analysis of dry weight.

The green weight of the branches of the sample trees was an average of 188.9 kg per pine, and 260.3 kg per spruce tree. The standard deviations of these figures were 95.5 and 142.4 kg, respectively. The variation in the green weight of the branches was explained best by stem size characteristics, and the breast height diameter was the most reliable of the variables illustrating it.

Species	Equation	r	$S_{y \cdot x}$, kg
Pine	$y = 1.6 + 0.173\ x^2$	0.851	51
Spruce	$y = -33.8 + 0.345\ x^2$	0.793	66

y = Green weight of the branches, kg/stem
x = Breast height diameter above bark, cm

The strongest correlation observed was between the green weight of the branches and the square of the breast height diameter, i.e. the cross-section area. The square of the diameter explains two-thirds of the variation of green weight, but even then the unexplained standard deviation is considerable. Nevertheless, it explains the green weight of the branches better than the stem volume. In a study performed by N i k u (1966) the total green weight of the branches and the under-6 cm top of spruce pulpwood trees was 36 kg when the breast height diameter was 12 cm, and 71 kg when the breast height diameter was 18 cm. These observations are in fairly good agreement with Fig. 2.

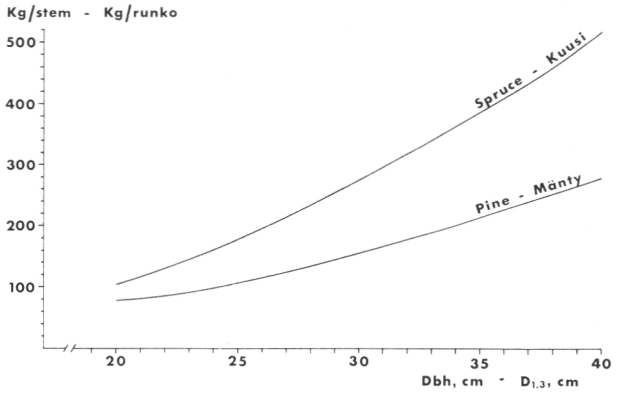


Fig. 2. Correlation between green weight of branches and breast height diameter above bark.

Kuva 2. Oksien tuorepainon ja kuoren päältä mitatun rinnankorkeusläpimitan välinen korrelaatio.

Solov'ev and Andreev (1967) determined the correlation between the weight of needle-bearing twigs per tree and various indices of Norway spruce. The coefficient of correlation was 0.91 for current annual increment of volume, and 0.82 for breast height diameter. The correlation was stronger than in the present study, but the material consisted of only a single stand.

The green weight of spruce branches is greater than that of pine branches, and this difference between the tree species was considerable in the largest trees. The average green weight of the branches was 215.9 kg per cu.m of stemwood with bark for pine and 365.6 kg for spruce.

412. Dry weight of the branches

The quantity of branches depends above all on the tree size, earlier growth conditions and genetic factors. Especially the stand density during the earlier stages of development is important (Nylinder 1959, Schmidt 1960, Vachula 1963, Loomis, Phares and Crosby 1966). It is not possible with the present material to examine the role of the last two factor groups in the variation between the trees, so only the influence of the external tree characteristics is considered here. They can be divided into two groups; characteristics that illustrate stem size and those that indicate the branchiness of the stem.

The average dry weight of the branches of large pine sawtimber trees in the present material was 82.6 kg per tree and that of spruce sawtimber

trees 125.8 kg. The standard deviations were 43.0 kg and 68.6 kg, respectively. The average dry weight of the branches was 94.4 kg per cu.m of stem wood with bark for pine and 176.7 kg for spruce. The corresponding figure for spruce stands on *Oxalis*-site type in Latvia is 134 kg per cu.m (J e v i n and D i k e l ' s o n 1962).

The variation is explained best by characteristics which illustrate the tree size (Table 2). The square of breast height diameter, i.e. the cross-section area, gives both tree species the highest coefficient of correlation. It should be noted that breast height diameter is again a better variable for the quantity of branches than stem volume, for two reasons. The weight of branches increases when diameter and volume grow, and, on the other hand, a tree of a certain diameter class has more branches the more sharply it tapers, i.e. the smaller its volume. It is known, correspondingly, that the crown weight of *Pinus contorta* is directly proportional to the breast height diameter. There are differences, however, between mature, stagnated and immature trees (M u r a r o 1968). An even better variable of crown weight than breast height diameter is stem diameter at base of the crown, but almost as accurate crown weight estimates can be obtained from a combination of breast height diameter and crown ratio (L o o m i s, P h a r e s and C r o s b y 1966).

However, volume is a better independent variable than the dry weight of the stem which is dependent not only on volume but also on basic density, and between basic density and crown size the correlation is negative. The predicting power of tree height in this material of over-aged trees was small, but the situation must be different in younger forests.

The characteristics depicting the branchiness of the stem that were included in the analysis were the crown ratio, the thickest branch and the

Table 2. Correlation coefficients for the dry weight of the branches and some stem characteristics

Taulukko 2. Oksien kuivapainon ja eräitten runkoa kuvaavien tunnusten välisiä korrelaatiokertoimia

Independent variable *Riippumaton muuttuja*	Pine *Mänty*	Spruce *Kuusi*
	r	
Dbh — $D_{1.3}$	.758	.809
$(Dbh)^2$ — $(D_{1.3})^2$	.765	.814
Height — *Pituus*	.170	.433
Volume — *Tilavuus*	.577	.738
Dry weight — *Kuivapaino*	.572	.703
Crown ratio — *Latvussuhde*	.343	.326
Branch class — *Oksaisuusluokka*	.646	.407
(Thickest branch)^2 — *(Paksuin oksa)*^{2}	.443	.508
Dbh x Branch class — $D_{1.3}$ *x Oksaisuusluokka*	.869	.777
Dbh/Age — $D_{1.3}$/*Ikä*	.344	.630

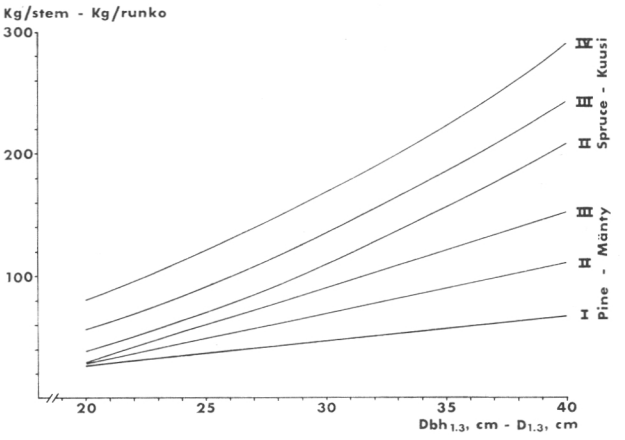


Fig 3. Correlation between dry weight of branches and breast height diameter above bark, by branch classes.
Kuva 3. Oksien kuivapainon ja kuoren päältä mitatun rinnankorkeusläpimitan välinen korrelaatio oksaisuusluokittain.

branchiness classes for coniferous sawtimber trees of the forest wage tables. The branch classification is not the best possible in this connection for it is based mainly on the sawlog part of the stem and excludes the top — that is, the majority of the branches — as will be seen from the following.

Class I. Forests with few and thin branches. Either few or no branches in the saw log part. The class consists chiefly of the best pine stands.

Class II. Forests with normal branchiness. Some branches in the saw log part. The class consists of ordinary pine forests and spruce forests with few branches.

Class III. Branchy forests. The branches of the saw log part are thick and numerous. The class consists of branchy pine forests and ordinary spruce forests.

Class IV. Very branchy forests. Very numerous thick branches in the saw log part. The class consists of abnormally branchy spruce forests and rarely of open-grown »wolf» pines.

Characteristics indicative of branchiness cannot alone explain the variation in the weight of branches in sawtimber trees. Stem size is the decisive factor. But if we take a characteristic illustrative of stem size and one that depicts branchiness parallelly as independent variables, the correlations are fairly close. This is illustrated by the following equations from which Fig. 3 was drawn.

Species	Equation	R	$S_{y \cdot x}$, kg
Pine	$y = 26.9 - 40.9\ x_1 + 2.07\ x_1 x_2$	0.944	14
Spruce	$y = -27.9 + 0.167\ x_1^2 x_2 + 0.131\ x_2^2$	0.857	35

y = Dry weight of the branches, kg/tree
x_1 = Branchiness class (1—4)
x_2 = Breast height diameter above bark, cm

When the equations were tested against the sample trees of Fig. 4, which do not belong to the original material, the results were:

Sample tree 1. Pine
Breast height diameter 39 cm, branchiness class 2. Dry weight of branches presupposed by the equation is 107 kg, true dry weight of branches 97 kg and green weight 190 kg.

Sample tree 2. Pine
Breast height diameter 23 cm, branchiness class 2. Dry weight of branches presupposed by the equation is 40 kg, true dry weight of branches 37 kg and green weight 84 kg.

Sample tree 3. Spruce
Breast height diameter 30 cm, branchiness class 3 (3 +). Dry weight of branches presupposed by the equation is 135 kg, true dry weight of branches 160 kg and green weight 300 kg.

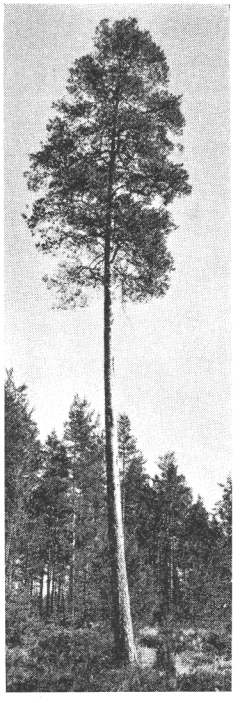
Sample tree 4. Spruce
Breast height diameter 32 cm, branchiness class 3. Dry weight of branches presupposed by the equation is 154 kg, true dry weight of branches 122 kg and green weight 221 kg.

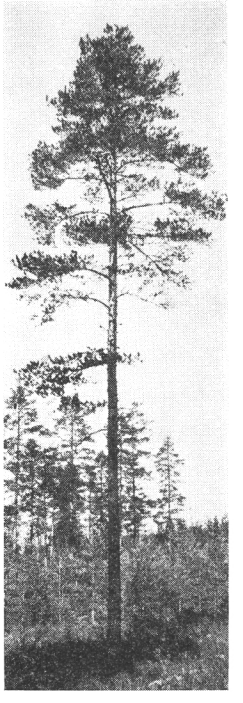
The breast height diameter and the branchiness class of forest wage tables give a satisfactory idea of the dry weight of the branches of sawtimber trees. The predicting power is high, especially for pine, for only 11 per cent of the variation is unexplained by the above equation. For spruce, the unexplained variation is 27 per cent.

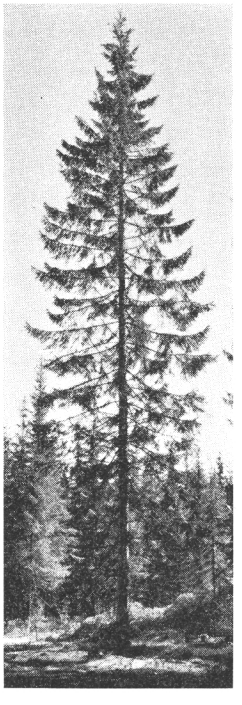
The length of the limbing time in the preparation of pine sawlogs is explained best by the same variables, breast height diameter and branchiness class (H a r s t e l a 1968). It is very interesting to see that also the limbing time is better explained by the breast height diameter rather than the stem volume.

The preponderant part of the dry weight of branches is made up of living branches. The proportion of dry branches may be important in individual cases, but is small on the whole. The share of unmerchantable top is even smaller.

Component	Pine		Spruce	
	kg/tree	%	kg/tree	%
Living branches	75.4	91.3	119.6	95.1
Dead branches	6.1	7.4	4.9	3.9
Unmerchantable top ...	1.1	1.3	1.3	1.0
In total	82.6	100.0	125.8	100.0


1


2


3


4

Fig. 4. Examples of the crown weight of pine and spruce saw timber trees. Explanations on the preceding page.

Kuva 4. Esimerkkejä mänty- ja kuusitukkipuitten latvuksen painosta. Selitykset edellisellä sivulla.

The size of the unmerchantable top is decided essentially by the quality and size requirements of pulpwood made from the tops of sawtimber trees. The minimum top diameter for pulpwood applied here was 5 cm, and the minimum length was 1 m. The recovery of timber was thus exceptionally complete and the unmerchantable top ratio was only 1 per cent of the total weight of the branches. The significance of the top naturally grows as the minimum measurements are raised. The top that remains in the forest in Finland in practice is in fact greater (cf. Siland er 1968).

Using Tiihonen's (1961) taper tables, it can be calculated that had the minimum length of the pulpwood log been 2 m the volume of unmerchantable top would have been 2.1 litres greater for pine and 1.8 for spruce. Further, it is possible to calculate the dry weight of a corresponding unit by applying the basic density values. The average basic density of the top was 357 kg/solid cu.m for pine and 399 kg/solid cu.m for spruce, and the dry weight of the unit was 0.7 kg for both tree species. Even then, the proportion of unmerchantable top was only c. 2 per cent of the total dry weight of the branches.

413. Branch dry weight in per cent of stem dry weight

As weighing is still used only exceptionally in the scaling of timber, the branch weights in kilograms per tree do not give a clear idea of the large amount of dry substance contained in the branches. This can be better illustrated by comparing the dry weight of the branches with that of the stem.

In the following comparison, branch dry weight consists of the needles, bark and wood of living and dead branches, and the bark and wood of unmerchantable top of under 5 cm. The stem dry weight comprises the bark and wood of the actual stem excluding the unmerchantable top and stump. Calculated in this way, the dry weight of the branches of saw timber trees was 26.0 per cent and that of spruce sawtimber trees as much as 48.6 per cent of the stem dry weight in the present material. The corresponding standard deviations were 13.5 and 20.1 per cent. Holmen (1964) analysed a 44-year old pine stand and a 60—70-year old spruce stand, both growing on *Sphagnum*-peat in Sweden. The branch dry weights were 45 and 39 per cent, respectively, of the stem dry weight.

The variation in the relative weight of the branches can be explained by external tree characteristics. The best variable of the stem size characteristics is now tree height which earlier was a poor exponent of absolute branch weight. On the other hand, breast height diameter or its square cannot alone explain the relative quantity of branches. However, it must be remembered that the material consists chiefly of over-aged trees.

Relative branch weight is correlated also with stem form. Sharply tapering stems are branchy, which is probably why breast height diameter

Table 3. Correlation coefficients for the dry weight of the branches, in per cent of the dry weight of the stem, and some stem characteristics

Taulukko 3. Prosentteina rungon kuivapainosta määritetyn oksien kuivapainon ja eräitten runkoa kuvaavien tunnusten välisiä korrelaatiokoeffikienttejä

Independent variable *Riippumaton muuttuja*	Pine *Mänty*	Spruce *Kuusi*
	r	
Dbh — $D_{1.3}$	—.169	—.086
1/Height — *1/Pituus*	.698	.635
1/Volume — *1/Tilavuus*	.437	.411
1/Age — *1/Ikä*	.344	.424
Crown ratio — *Latvussuhde*	.737	.616
(Branch class)[2] — *(Oksaisuusluokka)*[2]	.849	.745
Thickest branch — *Paksuin oksa*	.034	.204
Dbh/Height — $D_{1.3}$/*Pituus*	.642	.563

is a better indicator than stem volume of the absolute quantity of branches. The correlation between taper and branchiness has been demonstrated in both spruce (K l e m 1930 and 1934) and pine (H e i s k a n e n 1954).

The variation in the relative quantity of branches is explained best, of course, by characteristics that illustrate the branchiness of the stem. The crown ratio and especially the branchiness class give a satisfactory idea of the matter. If we select from each group of variables the one that makes the best independent variable, we achieve a very high degree of explanation at least for pine.

Species	Equation	R	$S_{y.x}$, %
Pine	$y = -15.4 + 626/x_1 + 1.97\ x_2^2$	0.951	4.2
Spruce	$y = 44.6 - 0.725 x_1 x_2 + 5.58\ x_2^2$	0.830	11.2

y = Dry weight of the branches in per cent of the dry weight of the stem
x_1 = Height, m
x_2 = Branchiness class (1—4)

The relative quantity of the branches of a mature sawtimber stand depends essentially on the height of the trees (Fig. 5). Short trees always have many branches and the basic density of the stemwood is low; thus the relative branch weight is high. If, in addition to height, the branchiness class of the trees is known, the relative amount of branches can be estimated fairly accurately.

42. Composition of the branches

The value of branches as industrial raw material depends essentially on their composition. For pulp production the proportion of wood should be as great as possible. If, on the other hand, the principal aim is the utilisation

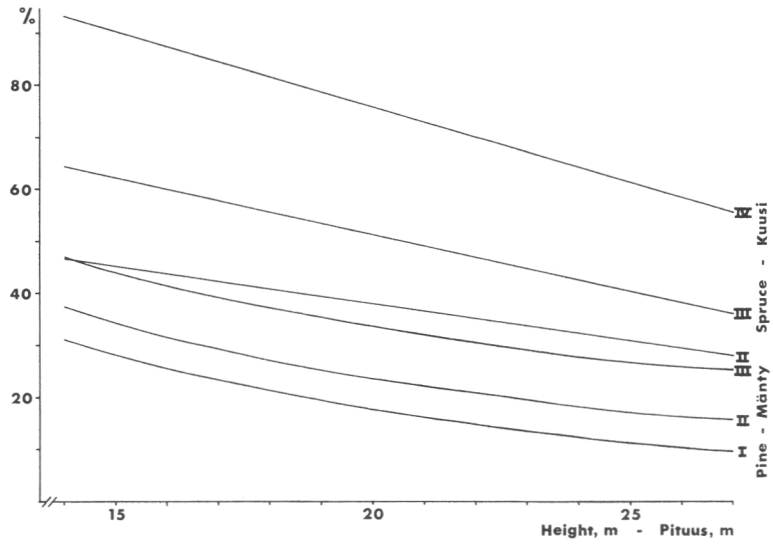


Fig. 5. Dry weight of branches, in per cent of stem dry weight, as a function of tree height, by branch classes.

Kuva 5. Oksien kuivapaino prosentteina rungon kuivapainosta puun pituudesta ja oksaisuusluokasta riippuen.

of branches by other chemical industries a great quantity of needles may be an advantage.

The dry matter of branches is composed chiefly of wood, bark and needles in ratios which depend on the size of the branches and, thus, also of the trees. The most important component in the branches of large sawtimber trees is wood, but in small trees the ratio of needles is probably highest.

The white columns denoting wood in Fig. 6 are divided into three parts: the lowest represents living branches, the next dead branches and the highest the unmerchantable top. The proportion of wood is distinctly highest in pine, whereas in spruce the combined weight of bark and needles is greater than the weight of wood. The enormous quantity of needles in large spruces is noteworthy.

We can obtain the clearest idea of the dry matter of the different components of the branches by comparing them with the dry weight of stemwood with bark. The most practical way of performing the comparison is by branchiness classes (Table 4).

The most important wood is contained in living branches, dead branches are of little importance. The exception is very branchy pines in which even the dead branches may contain a considerable amount of wood.

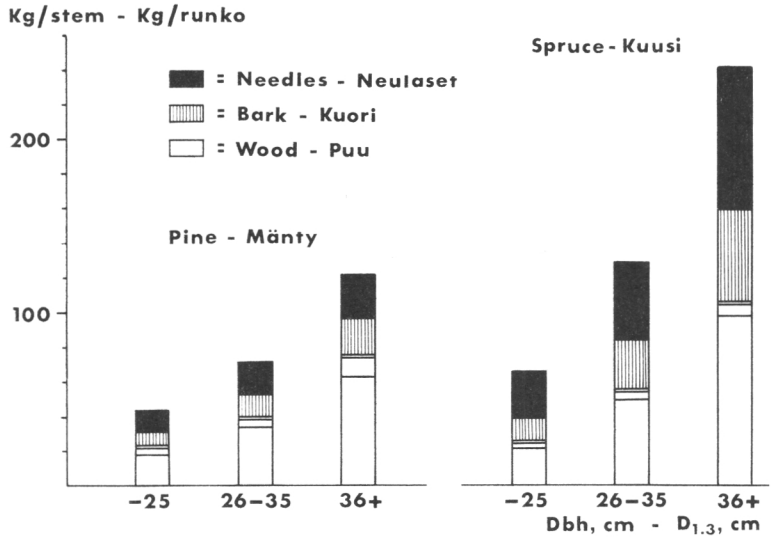


Fig. 6. Composition of the dry matter of the crown.
Kuva 6. Latvuksen kuiva-aineen koostumus.

Table 4. The proportion of different components of the branches in per cent of the dry weight of the unbarked stem
Taulukko 4. Oksien eri komponenttien kuivapaino kuorellisen runkopuun kuivapainoon verrattuna

Component *Komponentti*	Branch class — *Oksaisuusluokka*			
	I	II	III	IV
	Dry weight in per cent of stem dry weight *Kuivapaino, % rungon kuivapainosta*			
Pine — *Mänty*				
Wood — *Puuaine*				
Living branches — *Elävät oksat*	7.5	9.7	16.6	22.1
Dead branches — *Kuolleet oksat*	0.9	1.1	1.5	10.7
Top — *Latva*	0.3	0.3	0.2	0.4
Total — *Yhteensä*	8.7	11.1	18.3	33.2
Bark — *Kuori*	3.2	4.0	5.5	9.4
Needles — *Neulaset*	4.0	5.3	6.1	11.5
Total — *Yhteensä*	15.9	20.4	29.9	54.1
Spruce — *Kuusi*				
Wood — *Puuaine*				
Living branches — *Elävät oksat*	—	12.0	17.4	29.0
Dead branches — *Kuolleet oksat*	—	1.6	1.6	1.8
Top — *Latva*	—	0.4	0.3	0.4
Total — *Yhteensä*	—	14.0	19.3	31.2
Bark — *Kuori*	—	7.5	10.0	14.3
Needles — *Neulaset*	—	13.2	15.7	24.9
Total — *Yhteensä*	—	34.7	45.0	70.4

The share of the unmerchantable top is fairly small in this study, partly because of the minimum pulpwood measurements applied — one metre for length and 5 cm for diameter. At present, 2-m length and 6-cm minimum diameter are more common and if they were applied the weight of the top would be at least double the values obtained here. But even then, its significance is small in large trees compared with branches proper.

The weight of the bark of the branches depends chiefly on the quantity of branchwood. When the branch diameter grows the absolute amount of bark also increases, whereas the bark percentage of the branches declines. The branches of large spruce sawtimber trees contain in all roughly the same quantity of bark as the stem itself, but in the pine the weight of branch bark is only half that of stem bark.

The dry matter content of pine needles is of the same magnitude as that of branch bark, but it is considerably higher in spruce needles. The relative weight of needles is much greater in small trees, which were excluded from this material (cf. Burger 1953, Metz and Wells 1965).

The wood in the branches is the most important component for the pulp, fibreboard and particle board industries. Accordingly, the weight of branchwood was compared with the weight of stemwood to gain a correct idea of the wood really contained in the branches. The relative proportion of branchwood calculated in this way is explained best by the branchiness class and tree height, the former being more important.

Species	Equation	R	$S_{y.x}$, %
Pine	$y = 23.9 + 1.42\ x_1^2 - 0.766\ x_2$	0.901	3.9
Spruce	$y = 14.0 + 2.31\ x_1^2 - 0.198\ x_1 x_2$	0.743	6.7

y = Dry weight of branchwood, in per cent of the dry weight of stemwood
x_1 = Branchiness class (1—4)
x_2 = Height, m

The ratio of branchwood to stemwood is naturally greatest in both tree species in trees of branchiness classes III and IV. This is due not only to the variation in the amount of branches but also to the fact that the basic density of stemwood is small in branchy trees. By taking a characteristic which illustrates the size of the tree, tree height, as an independent variable in addition to branchiness class, we can explain 81 per cent of the variation in the pine and 55 per cent in the spruce.

The data in the literature on the relative proportion of branchwood in pine and spruce are not fully comparable. Blomqvist (1883) stated the volume of branchwood to be 8—12 per cent of the stem volume. Taking into account the high basic density of branchwood, especially in spruce, this early observation concurs fairly well with the findings of the present

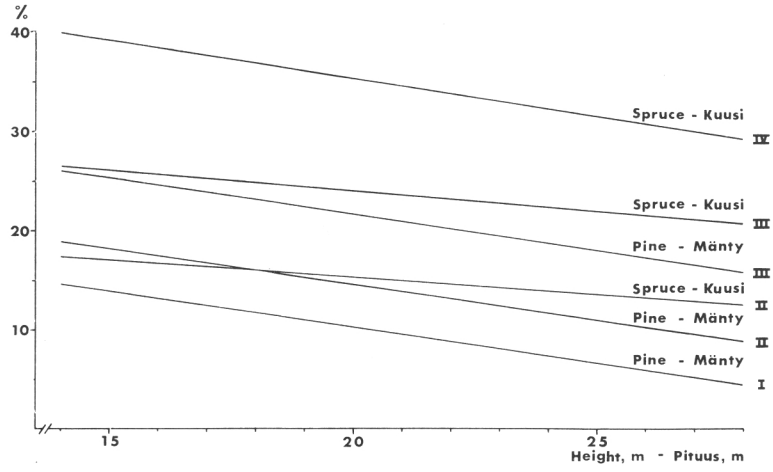


Fig. 7. Dry weight of branchwood in per cent of stemwood dry weight, as a function of tree height, by branch classes.

Kuva 7. Oksapuun kuivapaino prosentteina runkopuun kuivapainosta puun pituudesta ja oksaisuusluokasta riippuen.

study. According to Ilvessalo (1965), the volume of branchwood is 4—5 per cent in pine and twice as much in spruce.

The relative quantity of branchwood in spruce is distinctly greater than in pine (Fig. 7), but the difference between the tree species is no longer as great as it was for the total dry weights of the branches. This is so because the share of wood in the total dry weight of the branches is smaller in spruce.

A high proportion of bark and needles is characteristic of the branches of large trees. Effective utilisation of the raw material contained in branches by the pulp and chemical industries seems to presuppose that the different components of the branches — wood, bark and needles — can be separated prior to the industrial process. In addition, there may be cones on the branches, a point which has not been taken into consideration at all here.

43. Technical properties of branchwood

431. Diameter distribution

One of the greatest weaknesses of branchwood is its small diameter which complicates harvesting and industrial processing. For example, the usual methods of debarking cannot be used. It is important to know the diameter distribution of branchwood when planning machines for, say, the chipping or screening of chips.

Table 5. The distribution of living branchwood of large saw timber trees into diameter classes

Taulukko 5. Järeitten tukkipuitten elävien oksien puuaineen jakautuminen läpimittaluokkiin

Branch diameter, *Oksan läpimitta*, cm	Pine — *Mänty*			Spruce — *Kuusi*		
	Dbh of the tree, cm — *Puun* $D_{1.3}$, *cm*					
	—25	26—35	36—	—25	26—35	36—
	Per cent of total weight — % *kokonaispainosta*					
—1.0	24	20	16	32	25	20
1.1—2.0	16	15	13	37	27	17
2.1—4.0	51	41	33	31	47	59
4.1—6.0	9	22	25	—	1	4
6.1—8.0	—	2	11	—	—	—
8.1—	—	—	2	—	—	—
Total — *Yhteensä*	100	100	100	100	100	100

Table 5 shows the distribution of the dry weight of branchwood of sawtimber trees of different sizes into diameter classes. The classification is not based on the diameter at the base of the branch. Each diameter class contains that part of every branch with the above-bark diameter of the class. A similar classification was used by Loomis, Phares and Crosby (1966).

Pine branches are thicker on the average than spruce branches. Most branchwood in pine is under 6 cm in diameter, in spruce under 4 cm. Only a small proportion of the branches of larger trees are thicker, although the share of thick branches increases with tree size.

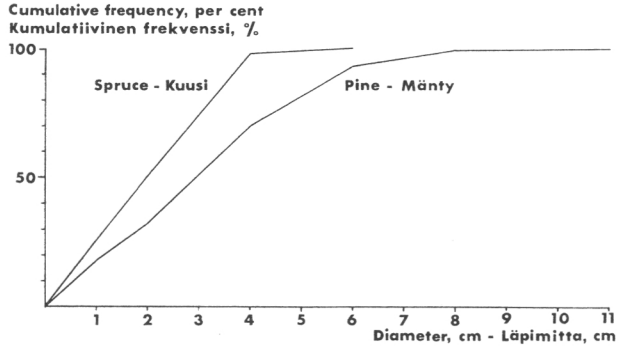


Fig. 8. Cumulative frequency of dry weight of living branchwood as a function of diameter above bark in the present material.

Kuva 8. Elävien oksien puuaineen kuivapainon kumulatiivinen frekvenssi kuorellisen läpimitan funktiona tutkimusaineistossa.

If branchwood is to be utilised as completely as possible the thin parts must also be recovered for they account for a significant part of the branchwood especially in spruce (Fig. 8). If only those parts of branches are used that are over 2 cm thick, one-third of the wood is lost in the pine and as much as one-half in the spruce when the large sawtimber trees of South Finland are in question. Young forests yield hardly any branchwood that is over 2 cm thick.

432. Moisture content

The moisture content of the branches is of interest primarily because it affects the green weight of the branches and, further, transport costs. The role of moisture content is otherwise secondary for the industrial use of branches.

The moisture content of living trees varies with the season of the year and the time of day. In the present study the material was collected in the summer and the trees were always felled in the daytime. Some of them were left lying for up to 24 hours before the moisture samples were taken. It is therefore probable that the moisture percentages measured are lower than the average for branches of growing pine and spruce sawtimber trees. Loss of moisture from a felled, unlimbed tree begins, however, chiefly at the butt end of the stem (cf. H a k k i l a 1963) and the change in the moisture content of the branches is probably small during the first few hours.

The moisture content of the highest top of the stem is very high for large quantities of water move towards the tips of the branches via this narrow part of the stem. The moisture content is essentially lower at the butt end of the branches, partly because of the heartwood they contain. In addition, the basic density at the base of the branch is so great at least in spruce that the relative moisture content cannot be very high. The same amount of water has to pass towards the tips of the branches via an increasingly scanty vascular tissue and the moisture content increases sharply in consequence. It is because of this phenomenon that the moisture content of the branches of sawtimber trees is smallest in the thickest branch class and increases as the branch diameter decreases (Table 6). The moisture content of bark, in contrast, seems to be highest at the base of the branches.

The moisture content of spruce branches is low compared with that of stemwood or pine branches. The low moisture content is due in part to the high basic density of spruce branches, as can be seen from chapter 434. On the other hand, the water content per unit volume is not as low in spruce branches as the moisture content alone might suggest (Table 7).

The water content per unit volume of unmerchantable top is exceptionally great. This is true also of the thinnest pine branches, but the water

Table 6. Moisture content of wood and bark in branches of different diameter classes
Taulukko 6. Eri läpimittaluokkien oksapuun ja kuoren kosteus

Component — *Komponentti*	Wood *Puu*	Bark *Kuori*	Average *Keskim.*
	Moisture content, per cent — *Kosteus, %*		
Pine — *Mänty*			
Unmerchantable top — *Latva*	156	167	158
Living branches — *Elävät oksat*			
—1 cm	..	..	*142
1—2 cm	126	143	131
2—4 cm	121	147	125
4—6 cm	109	151	113
6—8 cm	93	152	97
Spruce — *Kuusi*			
Unmerchantable top — *Latva*	148	131	144
Living branches — *Elävät oksat*			
—1 cm	..	..	*128
1—2 cm	78	111	87
2—4 cm	71	111	80
4—6 cm	58	123	68

* Includes the needles — *Sisältää neulaset.*

Table 7. The amount of water in kilograms per cubic meter of wood in different brach diameter classes
Taulukko 7. Veden määrä kiloina puukuutiometriä kohti oksapuun läpimittaluokittain

Component — *Komponentti*	Pine — Mänty	Spruce — *Kuusi*
	Water, kg/cu.m of branchwood *Oksapuussa vettä, kg/k-m³*	
Unmerchantable top — *Latva*	571	590
Living branches — *Elävät oksat*:		
1—2 cm	509	416
2—4 cm	494	404
4—6 cm	461	361
6—8 cm	425	..

content of larger pine branches and all spruce branches is roughly the same as in green stemwood.

433. Bark percentage

It is extremely difficult in practice to separate the wood and bark of the branches. In fact, we must be prepared to accept that a considerable proportion of branch bark remains in the raw material when branchwood is processed industrially. For this reason, too, the bark percentage of branches is very important.

Table 8. Bark percentage by weight in branches of different diameter classes
Taulukko 8. Kuoren painoprosentti oksan läpimittaluokasta riippuen

Component — *Komponentti*	Pine — *Mänty*	Spruce — *Kuusi*
	Bark percentage — *Kuoriprosentti*	
Unmerchantable top — *Latva*	15.0	22.9
Living branches — *Elävät oksat*		
—1 cm	55.0	57.0
1—2 cm	26.9	28.1
2—4 cm	15.7	20.9
4—6 cm	10.8	14.7
6—8 cm	7.9	..
Average — *Keskimäärin*	22.5	31.7

Bark percentage is the ratio of bark dry weight to total dry weight of wood and bark. The bark percentage thus defined averaged 23 for pine and 32 for spruce (Table 8).

The thinnest parts of the branches have more bark than wood. As the diameter grows, the bark percentage decreases sharply for bark thickness varies only slightly with branch diameter. The high basic density of the base of the branch also reduces the bark percentage by weight.

If only the thickest parts of the branches are recovered the average bark percentage declines essentially. Thus, the average bark percentage of over 2 cm parts is 13 for pine and 21 for spruce. According to Vachula (1961), the bark percentage of over 3 cm spruce branches is 20.5. But, as shown in the foregoing, a considerable proportion of the branchwood of sawtimber trees is lost if only the thickest parts of the branches are utilised. Branch bark is, however, chiefly inner bark, which is not an insurmountable problem in e.g. pulp cooking.

The bark percentage of unmerchantable top is relatively low in this material. The bark percentage of the topmost part of pine and spruce stems in an earlier study conducted at the Finnish Forest Research Institute was somewhat higher (Hakkila 1967). The explanation for the difference is that the bark percentage of the top in the present study refers to the true bark percentage of a limbed top, whereas in the earlier investigation all the samples were taken from places where the bark was intact and complete.

434. Basic density

Basic density is the most important quality indicator of defect-free wood. It is very important for the pulp, paper and board industries as both the yield and the properties of the end product depend on density. Wood density has been devoted a separate chapter here also to show how necessary

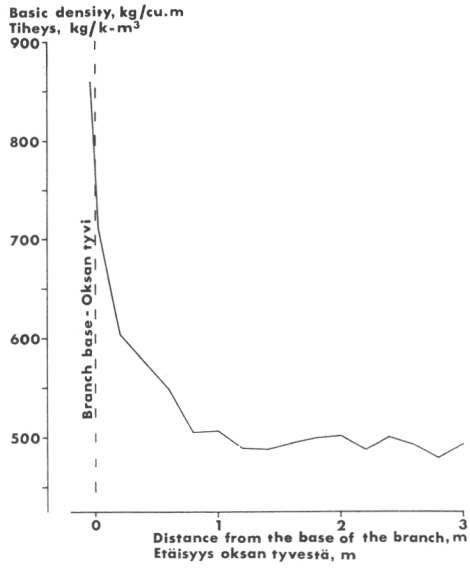


Fig. 9. An example of the variation of basic density in the longitudinal direction of a spruce branch.

Kuva 9. Esimerkki puuaineen tiheyden vaihtelusta erään kuusenoksan pituussuunnassa.

it is to compare stemwood and branchwood quantities by weight rather than by volume.

Basic density refers to the weight of absolutely dry wood in kilograms per cubic metre of green wood. It should be noted that in addition to wood proper the dry weight of wood consists of extractives the share of which is greater in branchwood than in stemwood.

The material included three extra spruce trees the branchwood properties of which were analysed carefully. The purpose of this additional material was to throw light on the variation of branchwood properties within and between the branches. Figs. 9 and 10 present examples of these results.

The wood density of a spruce branch is very great at the base of the branch, in this material generally over 700 kg/solid cu.m. However, the density is essentially lower even one metre from the branch base — after which the density declines but little towards the tip of the branch. No corresponding study of pine branches was made, but the differences in the longitudinal direction of a pine branch are obviously much smaller. The spruce branch tapers very slowly and, consequently, stress bearing on the base of the branch must be compensated for by an increase in wood density

A pine branch, on the other hand, is considerably thicker at the base and thus does not require such a high wood density.

In the example shown in Fig. 10 the inter-branch differences in wood density appear to be slight. The wood density of the small branches of the topmost crown does not seem to differ signifacantly from the density of the lower branches.

As wood density is highest at the base of the branch, the thick parts of the branch are of higher average density than the thin parts. The differences are especially great in spruce (Table 9). The density of large spruce branches is in fact higher than that of any other Finnish timber assortment.

It should also be noted that the wood density of the unmerchantable top is lower in pine than in spruce although the average density of a large pine stem is higher than that of a spruce stem. This is because the pine density declines from butt to top, whereas spruce density declines on advancing upward only at the butt end and higher up towards the top begins to increase again (Hakkila 1966).

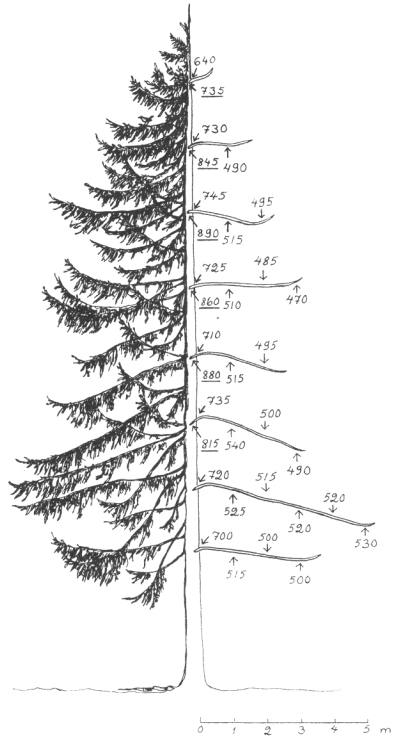


Fig. 10. An example of the variation of basic density within and between the branches in a spruce tree. The underlined numbers refer to knotwood.
Kuva 10. Esimerkki oksapuun tiheyden vaihtelusta eräässä kuusessa. Alleviivatut numerot viittaavat rungon sisäiseen oksanosaan.

Knot means the portion of the branch which is embedded in the wood by the natural growth of the tree. There is some information in the literature on the properties of knotwood and these are sometimes used to propound hypotheses concerning the properties of branchwood. Knotwood density is considerably higher than branchwood density (Fig. 10). It is clear from this the studies on knotwood properties cannot be applied as such to branchwood.

Boutelje (1966) reported the specific gravity of pine knotwood to be 0.95 (volume measured when dry) and of spruce knotwood 1.05. After the resin had been extracted, however, the specific gravity was only 0.65 and 0.95 respectively. According to Wegelius (1939), knotwood may be up to three times heavier than stemwood.

The density of thick spruce branches in particular is considerably higher than that of normal pulpwood. The average density of Finnish pine pulpwood is 398 kg/solid cu.m and of spruce pulpwood 383 kg/solid cu.m (Hakkila

Table 9. Basic density of wood in branches of different diameter classes
Taulukko 9. Puuaineen tiheys oksan läpimittaluokasta riippuen

Component — *Komponentti*	Pine — *Mänty*	Spruce — *Kuusi*
	Density, kg/cu.m — *Tiheys, kg/k-m³*	
Unmerchantable top — *Latva*	365	399
Living branches — *Elävät oksat*		
1—2 cm	402	531
2—4 cm	410	579
4—6 cm	423	621
6—8 cm	455	..
Average — *Keskimäärin* (1—8 cm)	416	564

1968). As branches contain more extractives than stemwood, the differences decrease when the wood is extracted. But they are still so great that the amounts of branchwood and stemwood cannot be compared on the basis of volume alone; the wood density must also be considered. On the other hand, it is also obvious that when branchwood is utilised as industrial raw material its special features call for special measures in the industrial process.

5. SUMMARY

The study forms part of a joint Nordic project concerned with the possibilities of utilising logging residues. The aim was to obtain an idea of the weight, composition and some properties of the branches of large Scots pine and Norway spruce sawtimber trees harvested in clear cutting operations in South Finland (Fig. 1) with reference to their industrial use. A more comprehensive study concerning trees of all sizes in Finland is in progress.

The material consisted of 45 Scots pine and 45 Norway spruce trees with an average volume of 0.8 cu.m with bark (Table 1). Most of the trees were over-mature. In addition to the wood, bark and needles of the branches proper, the unmerchantable top part of the stem was included in the branches.

The green and dry weight of the branches explained best by the breast height diameter of the tree. The share of the explained variation grows when a characteristic illustrating branchiness, for instance branchiness class, is also adopted as an independent variable (Figs. 2—4). The average green weight of the branches of the material was 216 kg/cu.m of stemwood with bark for pine and 366 kg/cu.m for spruce. The dry weight of the branches was 94 and 177 kg/cu.m, respectively. The total weight of the branches is made up chiefly of living branches. The share of the unmerchantable top is small for large sawtimber trees.

The average relative dry weight of the branches was 26 per cent of the stem dry weight with bark for pine and 49 per cent for spruce. A regression equation in which the independent variables were tree height and branchiness class explained 90 per cent of the from-tree-to-tree variation in the relative dry weight of pine branches and 69 per cent of that of spruce branches (Fig. 5).

The most important component of the total dry weight of branches is wood, but the share of needles and bark is also great. The combined weight of needles and bark in spruce branches is even greater than the weight of wood (Table 3, Fig. 6).

The relative amount of branchwood without bark and needles, expressed in per cent of the dry weight of the stemwood without bark, can be explained best by means of tree height and branchiness class. It was 13.5 per cent for pine (height 21 m, branchiness class 2) and 22.5 per cent for spruce (height 21 m, branchiness class 3) in the average tree of the material (Fig. 7).

The branchwood is thin in diameter even in large sawtimber trees (Table 5, Fig. 8). C. 32 per cent of the wood of living branches in pine and 51 per cent in spruce derived from parts that were less than 2 cm thick. Correspondingly, 71 and 98 per cent were under 4 cm in diameter. Thus, if branchwood is to be utilised, even thin branches and parts of branches must be recovered.

The moisture content of branchwood is highest in the thinnest parts of the branches. The moisture content of pine branches is distinctly higher than that of spruce branches. The relative moisture content of the largest spruce branches is fairly low, but their absolute water content is approximately as high as that of stemwood (Tables 6 and 7).

The average bark percentage of the branches was 23 per cent for pine and 32 per cent for spruce on the dry weight basis. It was over 50 per cent for the thinnest parts of the branch, under 1 cm, but only 8 per cent for the over 6 cm pine branches (Table 8).

The basic density of branchwood declines sharply from the base of the branch towards its tip, and it must be noted especially that branchwood has a significantly lower density than knotwood (Figs. 9 and 10). The average density of pine branchwood — 416 kg/cu.m in the present material — is only slightly higher than that of pine pulpwood. In spruce branchwood, on the other hand, the average basic density — 564 kg/cu.m in the present material — is higher than in any other timber assortment in Finland (Table 9).

LITERATURE

Alestalo, Aaro ja Hentola, Yrjö. 1966. Sulfaattisellua havupuiden kuorellisista latvuksista, oksista ja kannoista. Sulphate pulp from unbarked softwood tops, branches and stumps. Paperi ja puu 49: 737—742.

Baskerville, G. L. 1966. Dry-matter production in immature balsam fir stands: roots, lesser vegetation, and total stand. Forest Science 12: 49—53.

Blomqvist, A. G. 1883. Finlands trädslag i forstligt hänseende beskrifna II. Granen. Finska Forstför. medd. 3. Helsingfors.

Boutelje, Julius B. 1966. On the anatomical structure, moisture content, density, shrinkage, and resin content of the wood in and around knots in Swedish pine *(Pinus silvestris* L.) and in Swedish spruce *(Picea Abies* Karst.). Svensk Papperstidning 69: 1—10.

Filló, Z. 1964. (An anatomical study of *Salix alba.*) Faipari Kutatások (2): 289—319. (Cited from Forestry Abstracts 1966: 1196).

Golikov, V. V., and Falaleev, É. N. 1966. (Patterns in the structure of branches of Siberian tree species.) Lesn. Ž., Arhangel'sk 9: 30—32. (Cited from Forestry Abstracts 1967: 6101).

Hakkila, Pentti. 1963. Koivujen kuivuminen rasissa ja niistä tehtyjen pinotavarapölkkyjen vettyminen uitossa. The seasoning of leaf-felled birches and the waterlogging of cordwood of leaf-felled birches in floating. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 57.3.

—»— 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61.5.

—»— 1967. Vaihtelumalleja kuoren painosta ja painoprosentista. Variation patterns of bark weight and bark percentage by weight. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 62.5.

—»— 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 66.8.

Harstela, Pertti. 1968. Tutkimus karsintatavoista ja karsinta-ajan kuvaajista mäntysahatukkien teossa. (The archives of the Department of Forest Technology, Finnish Forest Research Institute. Unpublished).

Heiskanen, Veijo. 1954. Tutkimuksia mäntytukkipuiden laatuluokitustavoista ja niiden tarkkuudesta. Investigations into pine tree grading methods and their accuracy. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 44.1.

Holmen, Hilmar. 1964. Forest ecological studies on drained peat land in the province of Uppland, Sweden. Parts I—III. Studia Forestalia Suecica Nr. 16.

Kalnin'š, A. I. and Jevin', I. K. 1968. Pererabotka malomernoj drevesiny na vitaminnuju muku i technologičeskuju ščepu dlja himičeskoj pererabotki.

Processing of small-sized wood into vitamin pulp and technological chips for chemical treatment. FAO/ECE/LOG/210.

Klem, Gustav G. 1930. Kvalitetsundersøkelser i granskog og på grantømmer. Meddelelser fra Det norske Skogsforsøksvesen. Untersuchungen über die Qualität des Papierholzes. Bind 3: 397—452.

—»— 1934. Undersøkelser av granvirkets kvalitet. Untersuchungen über die Qualität des Fichtenholzes. Meddelelser Fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 5: 197—348.

Kočarev, Ju. M. 1964. (Mensurational tables for *Juglans regia* stands.) Lesn. Hoz. 17: 37—40. (Cited From Forestry Abstracts 1965: 2590).

Ledvik, F. P. 1965. (The problem of calculating branch (volume) requires further attention.) Lesn. Hoz. 18: 35—36. (Cited From Forestry Abstracts 1966: 4528).

Lindholm, C-A. 1968. Kokonaisena lastutetun männyn ja kuusen sulfaattikeitto. (The archives of the Labratory of Chemical Technology, Institute of Technology. Otaniemi. Unpublished).

Loomis, Robert M., Phares, Robert E. and Crosby, John E. 1966. Estimating foliage and branchwood quantities in shortleaf pine. Forest Science 12: 30—39.

Metz, L. J., and Wells, C. G. 1965. Weight and nutrient content of the above ground parts of some loblolly pines. U.S. Forest Service. South-East Forest Experiment Station. Research Paper No. SE-17.

Muraro, S. J. 1968. Rémanents de pins de Murray. Canada Ministère des Forêts et du Développement Rural. Publication n:o 1153 F du Ministère.

Niku, Väinö. 1966. Karsinta koneellistamisongelmana. Metsäteho Report 262.

Nylinder, Per. 1969. Synpunkter på produktionens kvalitet. Kung. Skogshögskolan — institutionen för virkeslära. Uppsatser nr U 2.

Řehák, J. 1964. (Method of determining branch volume.) Lesn. Čas., Praha 10: 927—940. (Cited from Forestry Abstracts 1966: 6464).

Savolainen, Raimo. 1968. Puunkorjuumenetelmät ja korjuutekniset olosuhteet hankintavuonna 1967/68. Metsätehon katsaus 19/1968.

Schmidt, W. 1960. Zur Analyse von Dickungen nebst Folgerungen für Anerkennung und Auslesedurchforstung. Forstarchiv 31: 105—109.

Silander, Soini. 1968. Mittauksia metsään jäävän puun latvaosan tilavuudesta ja pituudesta. Metsähallituksen kehittämisjaosto. Koeselostus n:o 26.

Solov'ev. S. A., and Andreev, V. V. 1967. (Trial evaluation of the (weight of) needle-bearing twigs in spruce trees.) Rast. Resursy 3: 520—523. (Cited from Forestry Abstracts 1968: 4346).

Tiihonen, Paavo. 1961. Männyn, kuusen ja koivun kapenemistaulukot. Referat: Ausbauchungstafeln für Kiefer, Fichte und Birke. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 54.1.

Vachula, P. 1963. (Investigation of the possibility of determining the amount of large spruce branchwood). Lesn. Čas., Praha 9: 897—920. (Cited from Forestry Abstracts 1966: 2598).

Voronicyn, K. I. and Pavlov, V. P. 1968. Ispol'zovanie othodov lesosagotovok dlja proizvodstva drevesnyh plit. Use of logging residues in the production of board. FAO/ECE/LOG/208.

Wegelius, Th. 1939. The presence and properties of knots in Finnish spruce. Acta Forestalia Fennica 48.1.

Worster, H. E. and Vinje, M. G. 1968. Kraft pulping of western hemlock tree tops and branches. Pulp and Paper Magazine of Canada. July 1968: 57—60.

Ylinen, Aili. 1969. Kuusen oksapuun ominaisuuksista. (The archives of the Department of Forest Technology, Finnish Forest Research Institute. Unpublished).

Young, H. E. and Chase, A. J. 1965. Fiber weight and pulping characteristics of the logging residue of seven tree species in Maine. University of Maine, Main Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin 17.

Žufa, L. 1963. (Volume and increment of *Salix alba* in natural formations in the northern Danube and lower Drava basins). Topola 7 (36/37): 63—70. (Cited from Forestry Abstracts 1964: 5430).

JÄREITTEN MÄNTY- JA KUUSIPUITTEN OKSIEN PAINO JA KOOSTUMUS

Lyhennelmä

Käsillä oleva tutkimus liittyy yhteispohjoismaiseen projektiin, jossa selvitellään hakkuutähteitten käyttömahdollisuuksia. Tavoitteena on ollut saada käsitys Etelä-Suomen (kuva 1) avohakkuissa korjattavien järeitten mänty- ja kuusitukkipuitten oksien painosta, koostumuksesta ja eräistä ominaisuuksista oksien teollista käyttöä silmällä pitäen. Laajempi tutkimus, joka kohdistuu kaikenkokoisiin puihin koko Suomessa, on työn alla.

Aineisto sisältää 45 mäntyä ja 45 kuusta, joitten keskimääräinen kuorellinen tilavuus oli 0.8 k-m^3 (taulukko 1). Oksiin on luettu varsinaisten oksien puuaineen, kuoren ja neulasten lisäksi myös käyttämättä jäävän latvaosan puuaine ja kuori. Oksapuulla tarkoitetaan rungon ulkopuolista oksapuuta (branchwood), ei siis rungon sisälle jäänyttä oksan osaa (knotwood).

Järeän havupuurungon oksien tuore- ja kuivapainoa selittää parhaiten rinnankorkeusläpimitan neliö. Selitetyn vaihtelun osuus kasvaa, kun riippumattomaksi muuttujaksi otetaan lisäksi joku puun oksaisuutta kuvaava tunnus, kuten oksaisuusluokka (kuvat 2—4). Tutkimusaineiston puissa oksien tuorepaino oli männyllä keskimäärin 216 ja kuusella 366 kg runkopuun kuorellista kuutiometriä kohti. Oksien kuivapaino oli vastaavasti 94 ja 177 kg/k-m^3.

Oksien kokonaispaino koostuu pääasiassa elävistä oksista. Järeillä tukkipuilla käyttämättä jäävän latvan osuus on vähäinen.

Oksien suhteellinen kuivapaino oli männyllä keskimäärin 26 ja kuusella 49 % kuorellisen rungon kuivapainosta. Regressioyhtälö, jonka riippumattomina muuttujina ovat puun pituus ja oksaisuusluokka, selittää 90 % männyn ja 69 % kuusen oksien suhteellisen kuivapainon vaihtelusta runkojen välillä (kuva 5).

Oksien kokonaiskuivapainon tärkein komponentti on puuaine, mutta myös neulasten ja kuoren osuus on erittäin suuri. Kuusen oksissa on neulasten ja kuoren yhteenlaskettu paino jopa suurempi kuin puuaineen (taulukko 3, kuva 6).

Varsinaisen oksapuun (ilman kuorta ja neulasia) suhteellista kuiva-ainemäärää, joka ilmoitetaan prosentteina kuorettoman runkopuun kuivapainosta, voidaan selittää parhaiten puun pituuden ja oksaisuusluokan avulla. Aineiston keskipuussa se on männyllä (pituus 21 m, oksaisuusluokka II) 13.5 ja kuusella (pituus 21 m, oksaisuusluokka III) 22.5 % runkopuun painosta (kuva 7).

Järeittenkin tukkipuitten oksapuu on ohutta (taulukko 5, kuva 8). Elävien oksien puuaineesta oli männyllä 32 ja kuusella 51 % peräisin alle 2 cm:n paksuisista oksanosista. Vastaavasti oli 71 ja 98 % oksapuusta läpimitaltaan alle 4 cm. Jos siis oksien puuaine halutaan käyttää hyväksi, joudutaan ohuetkin oksat ja oksanosat ottamaan talteen.

Oksapuun kosteus on korkein oksien ohuimmissa osissa. Männyn oksien kosteus on alhaisemman puuaineen tiheyden johdosta selvästi korkeampi kuin kuusen. Järeimpien kuusenoksien suhteellinen kosteus on näet verraten alhainen, mutta niitten

tilavuusyksikön sisältämä vesimäärä on kuitenkin suunnilleen yhtä suuri kuin runkopuun (taulukot 6 ja 7).

Oksien kuoriprosentti oli männyllä keskimäärin 23 ja kuusella 32. Ohuimmissa, alle 1 cm:n oksanosissa se oli yli 50, yli 6 cm:n männynoksissa vain 8 % kuorellisen oksapuun kuivapainosta (taulukko 8).

Oksapuun puuaineen tiheys laskee jyrkästi oksan tyvestä sen kärkeä kohti, ja erityisesti on huomattava, että tässä tutkimuksessa kaiken aikaa käsiteltävän rungon ulkopuolisen oksapuun tiheys on selvästi alhaisempi kuin rungon sisällä olevan oksapuun (kuvat 9 ja 10). Männyn oksapuun keskimääräinen tiheys — 416 kg/k-m^3 käsillä olevassa aineistossa — on vain lievästi korkeampi kuin mäntypaperipuun. Kuusen oksapuun tiheys — 564 kg/k-m^3 — sen sijaan on korkeampi kuin minkään muun »puutavaralajin» Suomessa (taulukko 9).

PRESCRIBED BURNING IN FORESTRY

P. J. VIRO

HELSINKI 1969

Helsinki 1969. Valtion painatuskeskus

CONTENTS

	Page
Introduction	5
Historical Survey of Prescribed Burning	7
Early Developments	7
Development of Prescribed Burning	9
Material and Methods	13
Results	15
Temperature of the Soil	15
Vegetation	18
Acidity	20
Organic Matter	22
Change in quantity	22
Total nitrogen	23
Mineral nitrogen	24
Mineral Nutrients	28
Total quantities of nutrients	28
Exchangeable nutrients	29
Examination of the Results	34
Active and Exchange Acidity	34
Biological Effects of Burning	35
Exchangeable Nutrients	37
Silvicultural Significance of Prescribed Burning	38
Summary	44
Literature Cited	46

INTRODUCTION

Swaling has been employed on a very large scale in Finnish agriculture for many centuries. It was the chief form of cultivation particularly in the Finnish interior as recently as the 19th century, and even in the beginning of the present century it was quite common in places in the provinces of Savo and Karelia. Usually one to five crops — sometimes even more than 10 — were taken from a burned area in swaling culture. Thereaftes the area was left to natural reforestation. On the most fertile sites swaling might be repeated as frequently as every 8th year, while on the most barren sites it could be done only once in over 30 years. It follows that this form of cultivation required vast areas of land, and in some regions more than 4/5 of the productive upland was swaled. Heikinheimo (1915) presented a very thorough analysis of the significance of swaling in forestry.

The burned ground was usually taken over by pine, birch and alder; and the more frequently a site was swaled, the more hardwood-dominated the forests became. Legislative measures were taken very early to restrict cultivation by swaling. The oldest statutes on this matter date back to the 16th century. In the latter half of the 19th century the Forest Service prohibited free burn-cropping on State lands, but forest sites assigned by the local forester could be rented for swaling provided the cropper had the burned site sown with conifer seed. The site also had to be fenced off, and the fences had to be maintained for at least 8 years. In this way, a large number of low-value alder woods were converted to stands of more valuable species. The first mention of sowing of pine seed on swaled land probably dates back to 1864 at Evo. Ericsson (1901) recommended that swaling should be included in the programme of the forest research institute, the foundation of which had been proposed by the Finnish Forestry Union.

If swaling of a site was done only once, the result might be the growth of a very beautiful stand of pines. A greater number of these stands probably grew after wild forest fires. As early as the latter half of the 19th century these beautiful stands led foresters to consider the utilization of fire as a means of converting stands of stunted or worthless species into more valuable pine stands. In his textbook, Blomqvist (1881) states that the best pine stands in Finland grow on swaled or burned lands, and similar obser-

vations were made by Hackstedt (1908). It was probably on the initiative of Blomqvist that, during the first year of the Evo Ranger School in 1875, the first prescribed burning exclusively for purposes of silviculture was carried out in Finland.

In Finland the chief objective of prescribed burning in forestry is the improvement of the productivity of the site, while the immediate purpose is to ensure reforestation. Some of the most serious obstacles to natural regeneration are a heavy layer of raw humus and the thick grass vegetation that often occurs on clear-cut areas. On dry or fairly dry land, which by its nature is most suitable for pines, there is often a thick undergrowth of spruce that completely prevents the growth of pines. Previously, seed trees were frequently left standing on the burned site, but it proved to be very difficult to protect them, and in consequence clear cutting and reforestation after burning have been adopted instead. In the United States of America, prescribed burning is generally done in order to promote reforestation with pine trees and to decrease the danger of wild forest fires (Little 1953). The slash is burned so early in the spring that the fire is not able to attain great intensity. Prescribed burning of woodland has been done in the southern States to decrease the shrub and grass vegetation that compete for nutrients. The strength of the fire has been kept low enough to avoid damage to the trees.



Fig. 1. Right 140-year-old VT-spruce stand, left 40-year-old pine stand on swaled site. Both 125 cu. m per ha, annual growth spruce 2.1, pine 6.7 cu. m per ha. Ähtäri. Photo August 1957.

This study attempts primarily to analyze the effects of burning upon the nutrient status of the soil. Particular attention is paid to the question of whether burning causes the leaching of nutrients, and also to the effect of burning on the mobilization of nitrogen. An attempt is also made to summarize the advantages and disadvantages of burning.

+ + +

This study has been under work for a long time, ever since 1951, and is finally ready for the press. The author's cordial thanks are due to the several persons in the field and in the laboratory for the care and skill with which they have performed their work, and to the colleagues who have offered constructive criticism on the manuscript.

HISTORICAL SURVEY OF PRESCRIBED BURNING

Early Developments

The subject of discussion at the convention of the Forest Association on September 9, 1882 (SMJ. 1883), was the experience acquired in the utilization of swaling or prescribed burning in reforestation. According to Borenius, the burning of slashwood (which in some respects is similar to prescribed burning) had been employed to some extent at Mustiala, as had also been done at Evo according to Blomqvist. It was pointed out by Blomqvist that in Sweden burning had been done in connection with clear cutting. At the same meeting, E. Wrede provided the first instructions on prescribed burning, and stated that the largest-scale burning he had carried out was 5 hectares. Among the advantages of prescribed burning that were mentioned, it was stated that land could be prepared thereby for regeneration while brushwood and useless saplings were destroyed. Among the disadvantages of burning were the danger of forest fire and the fact that burning promotes grass vegetation with the consequent conversion of the land into pasture. The burning of barren land was not recommended. The question was also dealt with at a number of other meetings of the Finnish Forest Association. Fellman stated that fire was the only device by which the vast cutting areas of northern Finland could be reforested, and some of the foresters present regarded it as being advisable also in southern Finland (SMJ. 1905). Also Cajander (1910) appears to have favoured burning. Among the dissenting opinions was the statement by Heikel (1905) that fire was one of the most



Fig. 2. Very well growing 21-year-old pine stand on a burned VT-site. Average height 8 m, 2 700 stems per ha. Ähtäri. Photo K. Leiwo March 1969.

serious factors causing destruction to forest. However, he was probably referring chiefly to wild forest fires. The reforestation occurring after burning is elucidated e.g. by Vuori (1913) and Heikinheimo (1915).

Similar discussions producing similar statements were also held in Sweden. These centred upon the burning of heather, which was particularly common in southern Sweden, and was done especially to improve pasture lands. On this subject, the first study based on sample plot material was made of the silvicultural effects of prescribed burning (Wibeck 1912). In this study, the result was reached that burning leads to good regeneration provided that the burning is not too intense: the number of seedlings was clearly greater on the burned areas than on unburned ones.

The first person in Finland to carry out large-scale prescribed burning was G. Wrede, the district forester at Parkano. Some of the areas he had burned about 1910 are included among the earliest burned sites dealt with in the present study. Annual statistical data on the areas burned are not available for the first two decades of the present century, but the overall amount of land was probably fairly small.

Uggla (1958) and Ahlgren & Ahlgren (1960) prepared very detailed summaries of literature dealing with prescribed burning and other uses of fire for silvicultural purposes. By means of this literature it is possible to construct a fairly complete picture of prescribed burning and its purposes in various circumstances.

Development of Prescribed Burning

Prescribed burnings were carried out for educational purposes at the Tuomarniemi Ranger School at the time during which Ernst Nylander was the school principal (1903—1909). The school's Silviculture Book, vol. I, mentions prescribed burnings done in 1906 and 1908, and the picture in the article by Cajander (1910) is probably of one of these burnings. Evidently, the question was generally one of the burning of slash in a stand subjected to shelterwood cutting. But burning was also done after clear cutting. The annual report from 1908 states that attempts were made to convert old stunted spruce stands into pine stands by means of prescribed burning. Burning on a larger scale, however, was done only after Arvid Borg became principal of this Ranger School in 1911. The first official directions for State-owned lands were given by Forest Service in the Circular Letter No. 2543, April 26, 1919. It is signed by Cajander and Borg.

The practice of prescribed burning grew slowly but definitely. The increasing amount of interest should be ascribed to Borg. He had cutting areas burned every year, and experiments were carried out with various methods of burning and reforestation (Borg 1926 b, 1928 and 1930). Broadcast sowing on snow was found to be the cheapest method of reforestation, and also a fairly good one. The disadvantage with this type of reforestation is the rather great consumption of seed, which amounts to about 1 kilogram per hectare. Laitakari recommended the burning of clear-cut moist woodland, but not of dry or rocky land. Discussing burning for natural seeding, he refers to the danger of destroying the seed trees (Ilvessalo & Laitakari 1930).

Figure 3 shows the amount of land prescribe-burned during the various years since 1923. The data on State lands were obtained from the reports

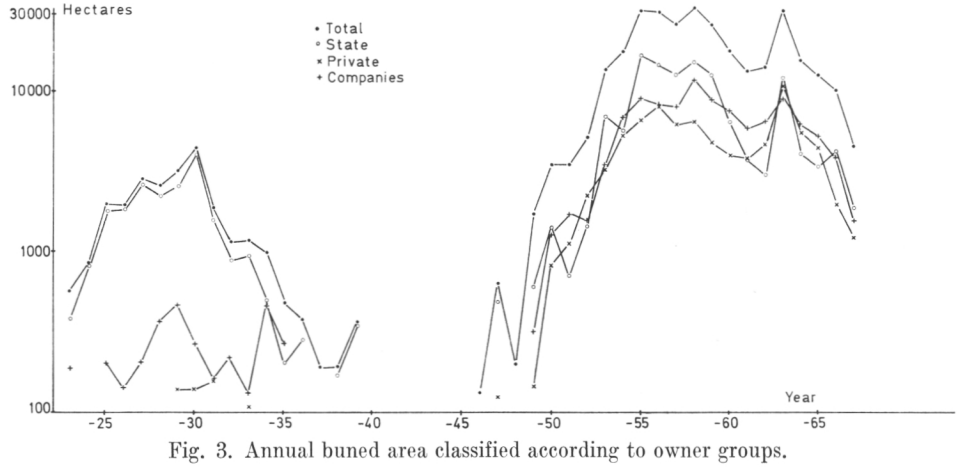


Fig. 3. Annual buned area classified according to owner groups.

of the Forest Service, those on private lands from the reports of the Tapio Central Forestry Board, and the data on the forests of the timber companies from the publications of Lindfors (1963, 1964) and Linnamies (1966). By 1930 prescribed burning had already become quite common, especially on State lands, but subsequently a rapid decline set in. It is difficult to ascertain the reasons for this decline, but there may be several of these. According to the statistics, prescribed burning for natural seeding was very wide-spread initially, and in some cases the burned areas were quite large ones. Pöntynen (1926) urged great caution in the burning of seed tree lands. When the seed trees died over a large burned area that was intended for natural reforestation, the regeneration might be very poor in the centre of the area (cf. Hesselman 1934). According to Uggla (1957), the heat of the flames that was generated during burning may be above 1 000°C, while it was as high as 100°C even at a height of 12 metres. According to Russian studies, the temperature is frequently 500—700°C (Melehov 1947). Consequently, to prevent the seed trees from dying during the burning, very efficient protective measures are required.

According to some old instructions, prescribed burning should be done so early in spring that the ground is still frozen. Then, only the driest part of the slashwood will burn, and even the moss layer will often remain almost unaffected. In this case, natural reforestation is just as difficult as it is on



Fig. 4. VT-spruce stand, 140-year-old, 125 cu. m. per ha, annual growth 2.1 cu m. per ha. Burning object of first order. Ähtäri. Photo August 1961.

unburned land. Poor results seem to have been achieved also in the reforestation of barren soils after forest fires. In some cases, these negative findings are undoubtedly due to careless inspection of the seedling stands. B o r g (1926 a) asserts that the inspector frequently overlooked the seedlings although there may actually have been too many of these. Forest inventories made in the forestry districts prove that B o r g was right in many cases. In the Kuru forestry district, for instance, fairly large continuous areas (up to 75 hectares) were burned during 1925—30 and reforested by means of patch sowing or broadcast sowing on the snow crust, and re-sowing was done on many of these areas. According to an examination made in 1936, most of these areas had a sapling stand with a height of 0.7—1.0 metres and a density of 0.7, although only 2—4 years had elapsed since re-sowing. Thus the re-sowing had been superfluous. Full-density forest is now growing on these sites.

There was also a tendency to decrease prescribed burning because of the opposing attitude among the teachers. T e r t t i (1937), for instance, considered that burning of the humus would reduce the fertility of the soil for a long time ahead. According to him, destruction of the humus was vandalism and was actual devastation of the forest, and prescribed burning was therefore unacceptable. However, it seems that he revised his opinion quite soon, for he stated a year later that prescribed burning could be used



Fig. 5. A barren VT-site can have a very dense seedling stand of stunted spruce. Here 85 000 seedlings of 25 yrs. per ha. Burning object of first order. Bromarv. Photo E. Ehrstedt April 1969.

if the purpose was to reforest the site with birch or pine (Tertti 1938). Ahola (1937) was doubtful about the natural reforestation of burned sites, but regarded burning itself as being a good measure.

There is a paucity of written sources, and an attempt has consequently been made to discover the reasons for the discontinuation of burning by interviewing scientists and forestry inspectors who were active around 1930 (Professor Laitakari, Superintendants Linko and Valkama and Inspectors Blomgren and Huuhtanen). They have stated that the above factors did actually contribute to the almost total discontinuation of prescribed burning. An additional reason mentioned was the tight money situation of the government, which necessitated a reduction in intensive silviculture and the planning of cuttings for natural regeneration. Another contributory factor was the fear of a total depletion of the spruce stock due to the fact that stands of spruce seedlings are slow to emerge on burned sites (Heikinheimo 1915). Another probable and important reason was that the burning was often done without expertise and consequently produced a poor impression.

During the war (1940—45) prescribed burning stopped entirely, but it was started up again after the war. Since 1950 there has been extensive prescribed burning of forest lands. This was due to the favourable results of prescribed burning in Sweden. This resumption of prescribed burning did not last for a long time, either. Since the peak years of 1955—57 the annual amount of burned land has declined almost continuously. The main reasons, probably, were the danger of forest fire associated with burning, the present legislation on fires, and the fact that prescribed burning is dependent for its success upon weather conditions, and also the increasing prevalence of mechanized methods of preparing the ground for regeneration. A further important reason is the fear of the seedling-destroying fungus *Rhizina undulata* Fr. that has appeared in many places on burned sites in recent years (Laine 1968). Part of the cause is undoubtedly the poor results from the large prescribed burning areas in northern Finland (up to 3 000 hectares of continuous burn) that were obtained because of unfavourable weather conditions and an unsuitable provenance of seed.

Information on the methods of reforesting burns are available only in respect of the burns made by the Forest Service in 1923—61. Initially, reforestation was chiefly natural. The acreage of man-made reforestation first exceeded that of natural seeding in 1927, while since 1932 almost all the burns have been artificially regenerated. After the war, natural regeneration was employed fairly commonly at first, but its proportion declined rapidly, and more than 90 per cent of the burned land was reforested artificially from 1956 onwards. In 1961, the latest year for which data are available on the method of reforestation, 97 per cent of prescribe-burned

land was reforested artificially, and the figure has probably remained at least at the same level subsequently. It is possible that a larger proportion of the burned land has been left to natural reforestation on private lands than on State lands. But on the lands of the timber companies, artifical reforestation is probably the chief method employed.

MATERIAL AND METHODS

The burned areas for which the dates of burning were known were traced for the purposes of the present study. The time elapsed since burning varied from one month to 50 years. The most recently burned areas were selected from places where the humus had burned fairly well at least, while it was difficult to estimate the intensity of fire on the oldest sites. The material comprises 92 burned sites: 54 VT, 29 MT and 9 OMT. (For the Finnish forest site classification see C a j a n d e r 1949.) An unburned control site for each burned site was selected on land as similar as possible. In some cases nearby burned sites had a common control site. Sample plots are to 80 per cent on morainic soils. The rest are on sand or esker gravel. The soil type at all the test sites was podzol; the type of humus was chiefly *mor*, but *moder* also occurred. Most of the sample plots are in the forests of the Ranger Schools (at Kuru, Tuomarniemi, Nikkarila and Evo). There were also some plots on the lands of Kaukas Oy at Ruokolahti, and at the University's Forest Training Station at Hyytiälä. With the exception of Evo, where the sample plots are on land that is more fertile than average, all the plots were on severely leached soil which had an average A horizon depth of 7.5 cm on unburned plots. With the exception of the most barren sites, the humus layer also was generally fairly deep, averaging 5.3 cm. These figures are much higher than the averages for these areas (cf. A a l t o n e n 1941).

Most of the soil samples were gathered in 1952, 1957, 1960 and 1961. Prior tests had revealed a great variation in soil acidity and amount of mineral nitrogen during the growing season. The variation in acidity on a sample plot during the growing season was about 0.5 pH units in unburned humus samples, while it was somewhat greater in mineral soils. The amount of ammonia nitrogen could vary up to three times its minimum value, nitrate nitrogen even more. The reasons for these variations are the weather conditions with consequent microbe activity, etc. For this reason, the samples were always gathered in the latter half of August. By taking the samples at the same date in the different years it was hoped to achieve roughly similar conditions at least where microbe activity was concerned. The sam-

ples of humus layer were gathered with a cylinder extractor by which the amount of humus per hectare could also be found, and a sample was composited from specimens taken at 10—20 spots. The mineral soil samples represent the soil layers 0—10, 10—20, 20—30 and 30—60 cm. Each of these was obtained by combining the soil from 3 pits. The samples were taken about 20 m from the edge of the burn, the distance between the burned and the unburned sampling spots thus being some dozens of metres. With a few exceptions, the analyses were made with air-dried samples. Unfortunately, no samples of slash or surface vegetation were gathered.

In the laboratory the humus samples were weighed when air-dry and then finely milled. The mineral soil samples were sieved with a sieve of 2 mm mesh. The following analyses were made of all the samples: exchangeable nutrients and easily soluble phosphorus, total nitrogen, acidity in water and in KCl, mechanical composition, and water-holding capacity. Also the following analyses were made of the humus samples: total inorganic analysis by burning the samples at 550°C, mobilization of nitrogen in 6-week and CO_2 evolution in 4-week incubation at the laboratory temperature (ca. 20°C).

The general methods of the laboratory of the Soil Research Department of the Forest Research Institute were employed in the analyses (Viro 1951, 1955, 1965). The exchangeable nutrients and the easily soluble phosphorus were leached out with 1-N amonium acetate acetic-acid solution (pH 4.65). The photometric and colorimetric determinations were made by Beckman-B spectrophotometer. The humus in the mineral samples was determined by the sulphuric acid-dichromate method, and the inorganic matter of the humus layer by burning.

The mineral nitrogen was extracted from the samples by a 0.5-N KCl solution. Part of the filtrate was made slightly alkaline with MgO, and the NH_3 was distilled into a beaker containing 0.01-N sulphuric acid, and gelatin to prevent coagulation. The determination was made with Nessler reagent in a Hilger photometer. From another part of the sample the humus was precipitated by $Al(OH)_3$. When the ammonia had been removed, the nitrate was reduced to ammonia with Dewarda solution and the ammonia was then determined as above. For the analysis the distilled water had to be purified with ion exchangers. Amberlit IR 120 was used to remove the ammonia, and Amberlit IR 4B to remove the nitrate.

At every sample plot the relative coverage of the various species of plants was determined from 10 squares each of 1 sq.m. The material was graded in classes of 10 per cent when the coverage was above 10 per cent, and in classes of 1 per cent when the coverage was below 5 per cent. Sporadic species of plants were noted even if they were growing outside the plot.

According to Kalela (1949) the root system of conifers, and particularly that of spruce, is fairly superficial, and about 95 per cent of the

roots are located in the surface layer to a depth of 30 cm. The nutrient content of the surface layer is consequently of the greatest importance for fertility. The resources of nutrients and particularly of water in the subsoil, which in some cases are fairly substantial, are probably exploited to a greater extent when the surface soil gets very dry. The effect of burning upon the amounts of nutrients in the subsoil is, however, a very small one, and is consequently not given in the diagrams presented.

In some of the age groups, the sites available for the study were few in number, especially for the years 1935—50. It was not possible to gather the material for the study by randomized sampling, and generalization of the results is for this reason less reliable. The amount of work involved in the analyses precluded the employment of a material that would allow classification of the plots into distinct groups of sufficient size as classified by time since burning, intensity of burning, type of soil, fertility of site, or other factors; and dispersion among the groups employed may thus be a considerable one. The intensity of burning depends chiefly on the amount of slash and the moisture of the slash and the humus, which may cause quite large variations in the investigated characteristics. In most cases, however, the results must be regarded as indicative of the general tendency caused by burning. The reliability of the results will be analyzed only in the cases where the material allows of it.

RESULTS

Temperature of the Soil

In prescribed burning the temperature may be very high, but a high temperature does not occur under the burning humus. In a soil with a thin layer of humus (3 cm) the temperature at the surface of the mineral soil was at most 100°C in the experiments by M e l e h o v (1947) and U g g l a (1957). In the experiments by A h l g r e n (1969), where the thickness of humus was initially 2—3 inches and post-burning one inch, the temperature at the surface of the mineral soil could rise above 300°C for 14 minutes and above 200°C for 34 minutes, in a burning lasting 5 hours. The temperature of the soil during burning is important chiefly in respect of the destruction of the microbe population.

The present study provides no observations of the effect of burning upon soil temperature, but in the course of the study a number of forestry students were given work assignments whose results shed some light on important questions of this kind.

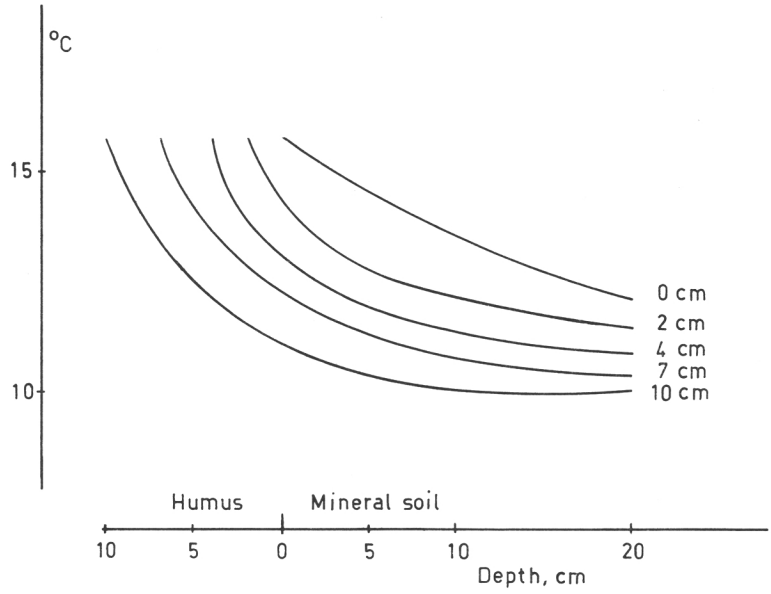


Fig. 6. Effect of humus layer on soil temperature in 1956 (L e m m e t t i & R o o s 1959).



Fig. 7. Humus layer at the base of trees is often thick and porous and isolates warmth effectively. Forks are roots, not branches. VT. Ähtäri. Photo August 1957.

Fig. 6 shows the effect of the humus layer on the soil temperature (Lemmetti & Roos 1959). The average temperature at the humus surface was 15.3°C in the summer of 1956, and 20.6°C in summer 1959. In terms of June—August average temperatures, a layer 10 cm thick lowered the temperature by 4.4°C in 1956, and by as much as 8.9°C in the warmer summer of 1959; and, especially on very hot days in the latter summer, large differences amounting to as much as 12°C were recorded between air and mineral soil surface. A dry humus proved to be a clearly more efficient heat insulator than a moist one. A humus layer decreased the lowering of the temperature of the mineral soil: a mineral soil layer 20 cm thick lowered the temperature by 3.2°C on a place without humus, but by only 1.4°C under a 10 cm layer of humus.

Burning has a very great effect on the temperature of the surface layers of the soil (Lipas & Mäki-Petäys 1961). During their observation period (June 17—August 23, 1959) the temperature reported at 14.00 hours was on average as follows (humus layer 3 cm at burned site, 9 cm in clearing and forest):

	burned	unburned	
		forest	clearing
air, 5 cm above ground	23.6°	20.6°	24.8°
humus surface	31.3°	18.0°	24.4°
mineral soil surface	16.0°	9.1°	12.8°
depth of 10 cm in mineral soil	12.5°	8.7°	10.6°
depth of 20 cm in mineral soil	12.0°	8.3°	10.2°

The summer when their study was made was warmer than normal. The early summer was some 15 per cent drier than normal, the late summer 25 per cent wetter than normal. The figures show that prescribed burning and clear cutting have a very great effect on soil temperature, and that the effect is clearly seen at a depth of at least 20 cm in the mineral soil. The highest temperature measured at the surface of burned humus was 52.8°C, and at the surface of humus in a clearing 36.0°C, while the temperature of the air at the same time was 29.9°C. Yet the thin humus layer of the burned area too proved to be an extremely good insulator, for the highest temperature at the surface of the mineral layer of the burned site was 18.3°C. According to these observations, despite the exceptionally hot summer there were no temperatures in the mineral soil of the burned areas that would have been damaging to plants. The temperatures in the forest were always lower than the respective figures for open land. In this material, the temperature of the humus depended chiefly on the atmospheric temperature. There was no correlation between the humidity and the temperature of the humus.

Vegetation

In prescribed burning, the vegetation above the ground is completely destroyed but species with subterranean regenerative organs may survive. Examples of these are certain herbs, grasses, dwarf shrubs and broadleaved trees. The subterranean organs of regeneration are destroyed the more completely, the more thoroughly the humus layer burns. The development of the vegetation on the burned site revealed largely the same tendency as that at the wildburn sites in northern Finland described by K u j a l a (1926) and S a r v a s (1937), and the causes for the spread of the various species can generally be explained in the same way. The spreading capacity of the seed seems, however, to be of greater significance for the development of vegetation than postulated by the above authors, for the first species found were dandelion *(Taraxacum officinale* Web.*)*, hawksweed *(Hieracium spp.)* and fireweed *(Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.).

In the year of burning, only a few scattered grasses and herbs could be found at the site, but the vegetation increased rapidly in subsequent years, as shown in fig. 8. The sample plots are classified according to time elapsed since burning. The average for all the unburned sites is used for comparison. Grasses and herbs were the first to appear on the site, and owing to lack of competition their numbers became fairly high in a few years, the grasses being 2.5 times and the herbs 5 times as abundant as those of the unburned sites. The amount of herbs began to decline after 6 years, and that of grasses

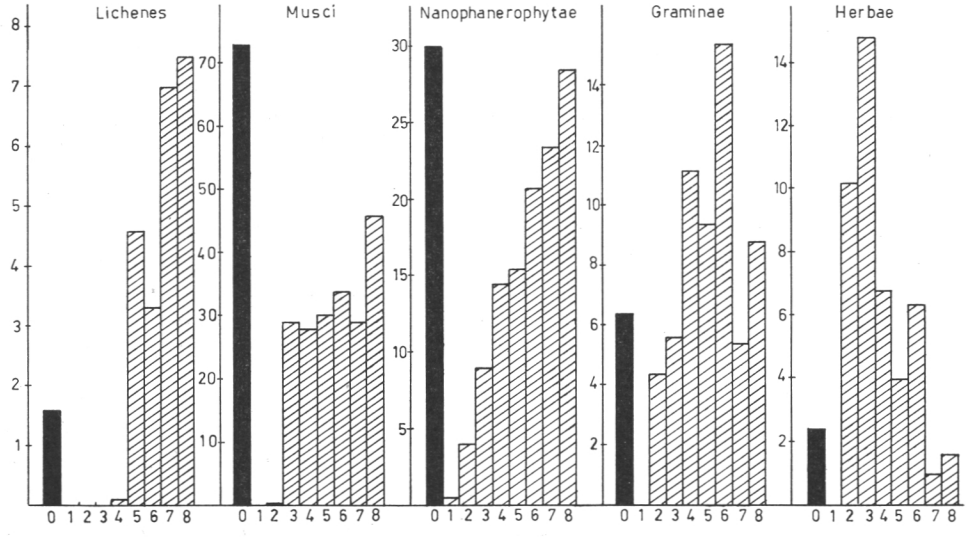


Fig. 8. Percentage cover of vegetation after burning. (On x-axis time after burning: 1 < 1, 2 = 2—3, 3 = 4—6, 4 = 7—9, 5 = 10—12, 6 = 13—19, 7 = 20—32, 8 = 33—50 yrs. Black bar = controls.)

after 20 years. Of the herbs, fireweed was briefly the dominant species, its coverage being 13.2 per cent after 4 years, while 20 years after burning only a few specimens could be found. Even on the oldest burned sites there was a slightly greater amount of grasses than on the control sites, while on plots more than 20 years old there were fewer herbs than on the control sites. Most abundant among the grasses were *Calamagrostis* species, their coverage being 9 per cent after 7—20 years against the 5 per cent of the control sites.

Mosses first appeared in substantial amounts on the burned sites after 3 years. Initially, the mosses were almost exclusively *Polytrichums* (chiefly *P. juniperinum)*, their maximum abundance (after 4—9 years) being 30 times as great as the amount on the control sites. Feather mosses were clearly apparent only after 10 years, but even after 30 years 40 per cent of the mosses were *Polytrichums*, and as late as the end of the research period their total cover was still almost 4 per cent, while it was only 1 per cent on the control sites. *Pleurozium Schreberi* and *Dicranum spp.* were the first feather mosses to appear. After 50 years the coverage of the former was 20 per cent and of the latter 13 per cent, that of *Hylocomium splendens* being only 3 per cent, while the control site figures were 39, 14 and 16 per cent. The amount of *Dicranum* was thus already normal, while that of *Hylocomium* was still very small even at the end of the research period. The total amount of mosses on the burned sites fell far short of reaching that of the control sites throughout the research period. Lichens were clearly apparent only after 7 years, and their amount then increased rapidly. On the oldest burns it was 5 times as great as on the unburned sites, and the culmination point was, perhaps, not yet reached.

The first dwarf shrub to appear was raspberry *(Rubus idaeus* L.). Its coverage was already 0.5 per cent in the year of burning, and 1.4 per cent after 6 years. Subsequently it quickly declined and became scarce. The total cover of dwarf shrubs reached an almost normal level by the end of the research period. On the control sites the coverage of lingonberry *(Vaccinium vitis-idaea* L.) was 18 per cent, that of blueberry *(Vaccinium myrtillus* L.) 8 per cent, and that of heather *(Calluna vulgaris* (L.) Hull) 2 per cent. During the research period the coverage of lingonberry increased more rapidly than did that of blueberry. On the oldest burned sites it was 13 per cent, the figure for blueberry being 4 per cent. The most rapidly increasing coverage was that of heather, which reached its normal level in 5 years and became 8 per cent after 15 years, but then started to decline slowly although it was still almost 7 per cent on the oldest burned sites.

It was earlier thought that fireweed and raspberry occurred on recently burned sites because they supposedly needed nitrogen in the form of nitrate (H e s s e l m a n 1917). T a m m (1956) has shown, however, that fireweed is just as able to utilize ammonia nitrogen. According to U g g l a (1957),

the great abundance of raspberry is due to the facts that the land is covered everywhere with raspberry seeds carried by birds, and the heat of burning causes them to germinate.

The occurrence of species of plants on burned sites of various ages matches fairly well with the observations of K u j a l a (1964). The species that occurred as pioneers were almost always the ones he had found to favour burns and clearings. The increase of lingonberry closely corresponds with the observations of T k a t s c h e n k o (M e l e h o v 1948), as do the increases in fireweed and grasses. According to the present observations, the occurrence of raspberry is a very short-term one. K u j a l a regards this as being strange, but raspberry is evidently a plant that requires a lot of light and cannot grow in a closed forest stand. On the control sites its coverage did not attain a numerical value (coverages below 1 % were not recorded), and it occurred on only 5 per cent of the squares studied. The increase in *Polytrichums* during the 4 years after burning is explosively quick, and the amount is clearly in excess of K u j a l a ' s observations. The occurrence of lichen is evidently also faster and more plentiful than is suggested by the observations made by K u j a l a. In any event, the figures indicate that the stabilization of vegetation after burning takes a long time. This may be considerably important in classifying sites by surface vegetation. Attention should be paid especially to the slowness of stabilization of lichen and moss vegetation. The studies made by S a r v a s (1937 a) indicate that stabilization is much slower still in northern Finland than would be suggested by the present results from southern Finland.

Acidity

At the burning of organic matter, the mineral substances therein are released in the form of oxides or carbonates that are usually basic. These cause a decline in the acidity of the humus layer, and in some cases the decline could be as much as 2.4 pH units. As a result of the leaching of electrolytes, of ion-exchange and the formation of new acid organic matter, the difference in acidity caused by the burning disappeared in about 50 years (fig. 9). The changes in acidity were fairly small in the mineral soil because of the latter's buffer capacity and greatness of mass as compared with that of the humus, but on average the pH of the mineral soil was slightly higher on the burned sites than on the unburned sites throughout the research period. Fairly distinct variations in acidity were found through the growing season. Fig. 10 shows the changes in the Hyytiälä plots during the two first summers after burning.

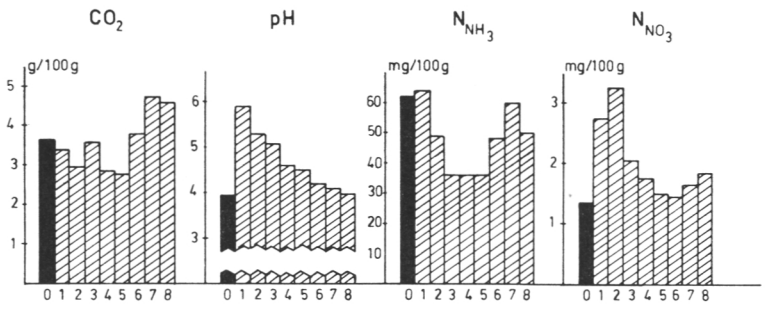


Fig. 9. Effect of burning on certain properties of humus.

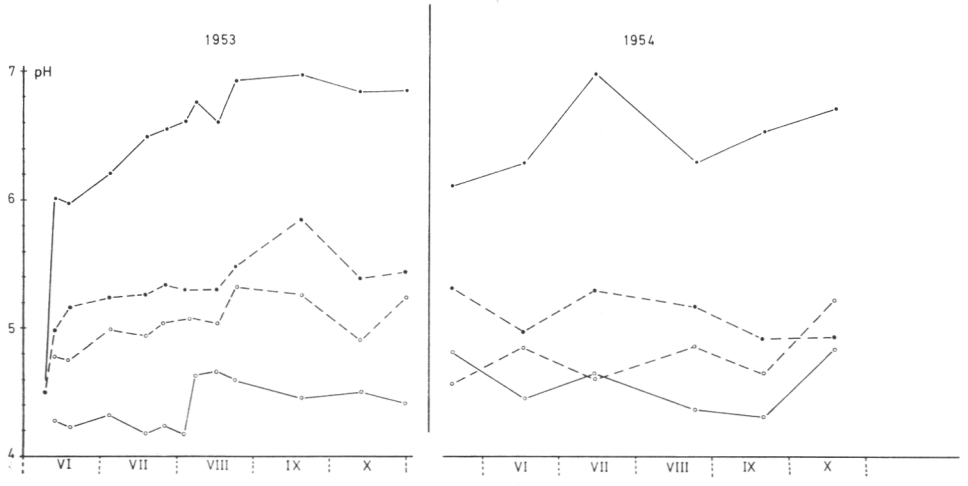


Fig. 10. Effect of burning on pH of soil. (Whole line humus, broken line mineral soil 0—10 cm dot burned, circle control.)

The acidity of the humus layer measured in water was about 1.5 pH units smaller than when measured in KCl. In the mineral soil the difference was slightly smaller, i.e. 1.2—1.3 units. The correlation between cH measured in water and cH measured in KCl was as follows for the various layers:

	H	0—10	10—20	20—30	30—60
unburned	0.77***	0.59***	0.85***	0.70***	0.36**
burned	0.94***	0.19	0.73***	0.47***	0.26*

It can be seen that the correlation declined in both groups at depths beyond 20 cm. This, probably, is chiefly due to the low acidity (pH approximately 5.5), as even a small cation amount might affect it substantially. In the surface of the mineral soil the correlation was smaller in both groups than it was in the humus or the 10—20 cm layer. This may be due to the differing

retention of the cations on humus and mineral soil. This was particularly clear on the burned sites, where the amount of cations leached out of the humus layer could be high (cf. chapter on exchangeable nutrients).

Organic Matter

Change in quantity

Determination of the border between the humus layer and the mineral soil is difficult especially on *moder* humus soils. The humus layer always contains mineral soil that has been incorporated by soil animals and frost. According to the study by Karppelin & Laukkanen (1958), the insoluble matter in the ashes of *moder* humus contains the following amounts of mineral soil in the various layers: F_1 50 per cent, F_2 57 per cent, and H 69 per cent. Consequently, it was found more reliable to ascertain the quantity of the humus layer from the figures obtained after the humus sample had been burned than by measuring the thickness of the humus layer. The numbers in fig. 11 refer to organic matter only, and do not include the ash normally occurring in humus or the mineral soil in the sample.

Most of the matter that burns during prescribed burning is, evidently, usually slash and live moss and other surface vegetation. The amount of humus layer proper (F + H) decreased during burning by about 7 tons per hectare (24 %), and this difference between burned and unburned sites did not subsequently become much smaller. The thickness of the humus layer on the unburned sites averaged 5.3 cm, while the figure after burning was 1.2 cm less than this. Thus the humus layer became only slightly thinner as a direct consequence of burning, but there occurred a much more distinct thinning of the layer in the years after burning, as is seen in fig. 7 on p. 16. The thinning of the layer, at maximum by 2.8 cm, seems thus to be chiefly due to compression. The probable cause of compression is the death by fire of the dwarf shrubs, especially heather, for their moldering roots can then no longer maintain the porosity of the humus. The humus was thinnest 8—20 years after burning, and subsequently became thicker.

The release of CO_2 is generally regarded as an index of microbial activity and the speed of decomposition of humus. Laboratory experiments have shown, however, that the CO_2 evolution does not give a correct picture of the speed of decomposition, e.g. of samples fertilized in various manners (Viro 1963). The evolution of CO_2 was smaller in burned than in unburned humus for 12 years (fig. 9). Subsequently, the evolution increased and it was greater on the oldest burned sites than on the control sites. The initial decrease is probably due in part to the change in acidity caused by burning,

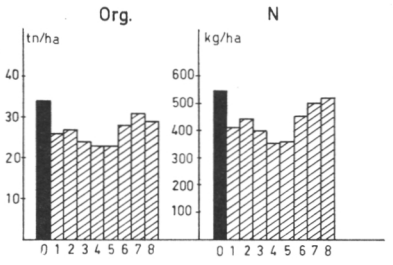


Fig. 11. Effect of burning on amount of organic matter and total nitrogen in humus layer.

for the same phenomenon has also been observed with liming in laboratory tests. Another probable cause is the burning of the humus surface, which is the most easily decomposing part. The later increase in CO_2 evolution is probably connected with the generation of new, more easily decomposing humus, especially that produced by herbs, grasses and deciduous trees.

The burning had a very small effect on the amount of humus in the mineral soil. Yet there was a visible tendency for the amount of humus in the mineral soil to increase, and this is most distinct in the 20—30 cm layer. This is probably due to iso-electric precipitation of the alkali humates (cf. p. 32, leaching of potassium). The differences, however, are very small ones.

Total nitrogen

The change in the humus layer's total quantity of nitrogen (fig. 11) which was caused by burning followed fairly closely the changes in the amounts of humus. Thus, the quantity of nitrogen in this layer decreased by approximately 25 per cent. In the various layers of soil the correlation coefficient between the quantities of organic matter and nitrogen was a high one, being approximately 0.9***, for the nitrogen was mainly organically bound. Yet the nitrogen content of the organic matter was in accordance to the fertility of the site. The nitrogen content of the organic matter of the humus layer was higher on fertile than on barren land, and the same was true of the surface layer of the mineral soil. The difference decreased with increasing depth, and on the most barren soils the nitrogen content of the humus was greatest in the subsoil. The quantity of nitrogen in the humus layer decreased by approximately 100 kg per hectare during burning. Evidently, the nitrogen in the slash and the moss layer is largely lost through burning. The C/N ratio clearly declined through burning; the difference between the unburned and the burned sites was 3.8 in the humus and 0.7 in the surface layer of the mineral soil. On account of the great dispersion, however, the differences were not statistically significant. Burning did not affect the total quantity of nitrogen in the mineral soil. The C/N ratio

declined with increasing depth: on the unburned sites it was 38.9 in the humus, 17.8 in the 0—10 cm mineral soil, 16.3 in the 10—20 cm, 14.6 in the 20—30 cm, and 10.2 in the 30—60 cm layer.

Mineral nitrogen

Changes in the acidity and the mineral nitrogen content were recorded at two pairs of the Hyytiälä MT-plots during two summers. Fig. 12 shows

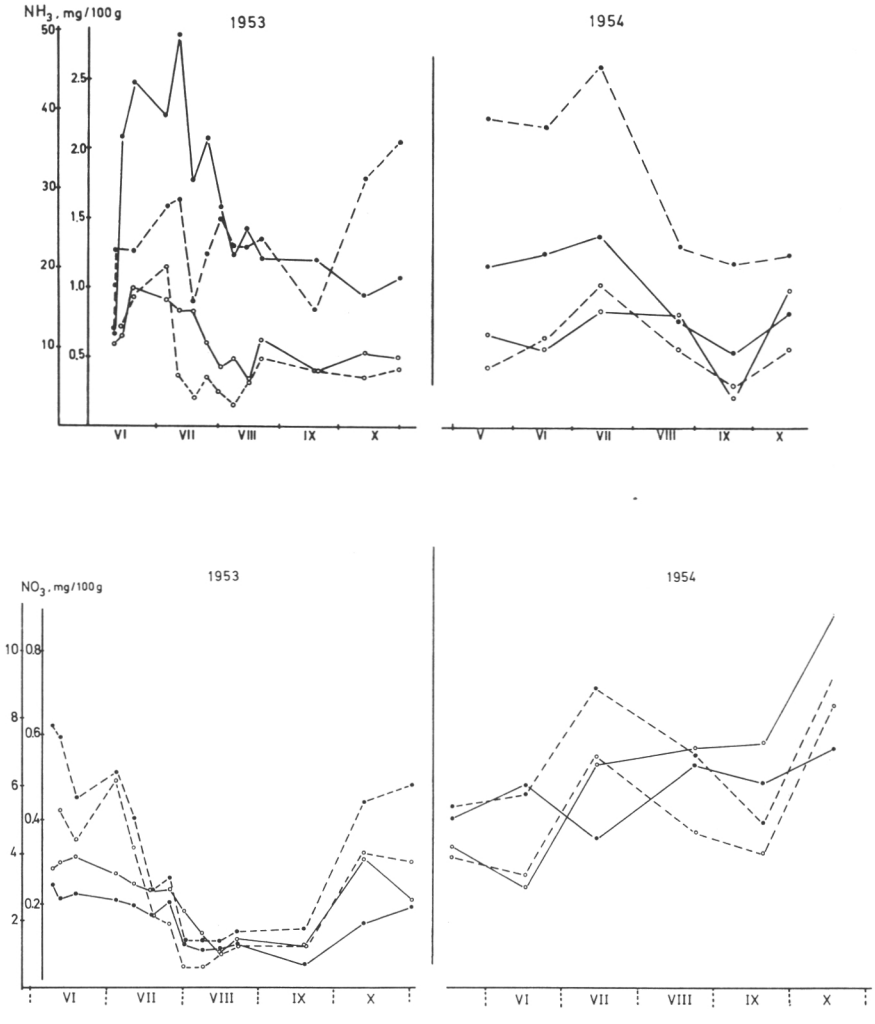


Fig. 12. Effect of burning on content of mineral nitrogen in soil. Bigger sclae for humus, smaller for mineral soil. (Expl. see fig. 10.)

Table 1. Amount of mineral nitrogen in Hyytiälä plots as a mean of growing season.

Layer	NH_4-N		NO_3-N	
	1953	1954	1953	1954
	kg N per hectare			
	Burned			
H	7.8	4.7	0.13	0.38
0—10 cm	11.0	17.2	0.63	1.22
10—20 »	6.3	7.6	0.68	1.24
20—30 »	5.3	6.9	0.68	1.20
Total	30.4	35.4	2.12	4.04
	Control			
H	2.6	2.6	0.18	0.32
0—10 cm	4.0	5.4	0.50	0.93
10—20 »	4.5	6.3	0.46	1.22
20—30 »	5.1	5.1	0.47	1.15
Total	16.2	19.4	1.62	3.62

the changes in ammonia and nitrate nitrogen content. Samples were taken throughout the growing season and were immediately sent to the laboratory, where they were analyzed while fresh. The figure shows that the ammonia nitrogen content of the humus layer increased threefold during burning, and that the difference was retained until late in the second summer. The difference was clearly observable even in the mineral soil to a depth as great as 10—20 cm. Most of the ammonia nitrogen in the mineral soil had probably been leached out of the humus layer. In these samples the nitrate nitrogen content of the humus was almost independent of the treatment, but in the mineral soil the nitrate content was higher on the burned sites for all the layers analyzed, which indicates that nitrification had obviously occurred in the humus layer and that the nitrate formed had been leached out.

Table 1 shows the quantities of mineral nitrogen in the soil as June—August averages in the year of burning and the following year. The total amount of ammonia nitrogen was almost equally great during both years on the control sites, and was nearly twice as great on the burned areas as on the unburned areas. In the year following that of burning, the difference was smaller in the humus layer but greater in the surface soil, and the difference between the sites was distinct also in the mineral soil. The burning caused a fairly slight increase in the amount of nitrate. These plots had a fairly thick layer of humus in which the microbe population may have been completely destroyed, and there had been insufficient time for microbes to migrate there from the mineral soil. The amounts of nitrate were much greater in the year following burning than in the year of burning on all the sites. The reason for the difference was not analyzed in any great detail.

The nearest weather station was more than 100 kilometres away, and it was consequently impossible to analyze the relationship between this difference and the weather conditions. True, the former summer was colder and wetter than the latter one.

The prevalent opinion holds that burning is destructive to the microbes of the surface soil, and that the organisms actively decomposing the humus and fixing the nitrogen suffer particularly from the burning. Somewhat farther down, the microbes remain intact and fairly soon repopulate the surface soil. As a result of burning, there is a multiple increase in the amount of bacteria (cf. Hanioja 1961, Ahlgren & Ahlgren 1965). The burning decreases the acidity of the soil, and this improves the living conditions of the bacteria especially.

In the dried samples, which were incubated while moist, there was only a very small difference between the ammonia contents of humus from the unburned and from the burned site in the year of burning; but in subsequent years the samples from the burned sites had clearly less ammonia (fig. 9). The difference between the sites began to decline after 12 years, and on the oldest burned sites the ammonia content was almost as high as that of the unburned site. In the incubated samples the nitrate content, however, was clearly greater on young burned sites. The difference declined rapidly, and after about 10 years the contents were equally great on the two groups. Later, a new increase in nitrate content was observed, as in the case of ammonia, but this was only after 20 years. It was found in earlier experiments that liming decreases the amount of ammonia nitrogen and increases that of nitrate nitrogen (Viro 1963). The probable cause is a change in acidity favourable to nitrification bacteria, with ammonia nitrogen being converted into nitrate nitrogen. Kaila et al. (1953) obtained similar results regarding the effects of liming upon the mineralization of nitrogen.

The difference between the fresh and the dried samples is probably due chiefly to the fact that rain may have leached some of the nitrate in the former, while nitrification had occurred in the latter during drying. The humus of the burned site lets water through more easily than does the humus of the control site, and the ammonia and nitrate ions are highly soluble while the nitrate ion is also highly leachable. Possibly, the question here is also one of different activities of the soil microbes. Nitrification is slow at the temperature of forest land, but at a suitable degree of acidity it may be very rapid at laboratory temperature (c. 20°C). This, however, does not entirely explain the observed difference. The ammonia content decreased by more than 25 mg per 100 g, and the nitrate content increased by a mere 2 mg. It is obvious that the microbes had utilized a lot of the generated ammonia nitrogen for their own life activities. It was not possible to determine the amount of nitrogen that was bound by the microbes.

An analysis made immediately upon taking the sample reveals the quantity of mineral nitrogen present at that moment. It is possible that from the viewpoint of fertility the measuring of the momentary content gives data that are more serviceable than data from an incubation test, but such measuring is seldom possible in practice because it demands immediate analysis of the samples. However, the figures on total mobilization of nitrogen show the same tendency whether obtained at the taking of the sample or from dried samples after incubation, and both obviously provide results that can be used in respect of fertility. Both the ammonia and nitrate nitrogen can be utilized by vegetation.

S v i n h u f v u d (1929) found that when peat was partly burned, some of its nitrogen on conversion into ammonia becomes bound to the peat that remains unburned, and that this is the reason why there were good crops on burned peatland in Ostrobothnia. In the experiments by K a i l a et al. (1953), heating up to 65°C was enough to cause a multiple increase in the amount of ammonia nitrogen, while it did not affect the amount of nitrate nitrogen.

To ascertain the results of heating, humidified humus was burned slowly in a quartz tube and the generated gases were led first through damp humus and then through a sulphuric acid solution. The test showed that 53—74 per cent of the nitrogen in the humus was converted into ammonia form, and about 99 per cent of this became bound to the humus. Consequently, prescribed burning can be compared to Kjeldahl burning. The percentage of mineralization was greater in the humus of fertile soil than in the humus of barren soil. Of the analyzed samples, 8 were OMT and 7 were VT-MT. In these groups the proportions of total nitrogen converted into the ammonia form were as follows:

OMT	68.2 ± 2.08 %
VT-MT	57.3 ± 1.89 %

The difference is significant at the 1 % level ($t = 3.05$).

Probably, the nitrogen compounds converted into ammonia at heating are mainly the most easily decomposing nitrogen compounds, i.e. those whose decomposition finally produces the same result in nature. At burning, some of the ammonia formed becomes bound to the underlying humus, but far the most of it escapes with the combustion gases and is returned to the ground with the rain. Only about 0.5 per cent of total nitrogen was converted into nitrate form while burning in the laboratory.

Mineral Nutrients

Total quantities of nutrients

In prescribed burning it is mainly the slash and the live moss that burn, and their mineral substances enter the humus which, in the present case, provided the samples. Post-burning, this could be seen very clearly in the larger amounts of total and exchangeable nutrients on the burned site, for, as mentioned previously, the humus samples were gathered from the humus layer proper, and did not include the layer of moss. The speed at which the quantities of nutrients returned to normal showed great variation among various nutrients.

The total amounts of nutrients in the humus layer of an unburned site are shown in fig. 13. When these are compared with the exchangeable quantities of the same nutrients (fig. 14) it can be seen that the total amounts were always larger, as could be expected. The differences for the various nutrients, however, were substantial. Potassium was found to be the most easily soluble, with 75 per cent of it being exchangeable. Of their total amounts, 56 per cent of the calcium, 54 per cent of the sodium and 48 per cent of the magnesium were exchangeable, while only 25 per cent of the total amount of phosphorus was easily soluble. Similar differences probably exist in the solubility of the nutrients in the organic matter of the mineral soil. Fig. 13 also shows that the alkali metals and phosphorus are poorly fixed to the humus. There were smaller total quantities of these on the burned sites than on the unburned sites as early as the year of burning, despite the fact that the ashes from the slash and ground vegetation were included in the samples from the burned sites. In contrast, calcium and magnesium adhered well to the humus.

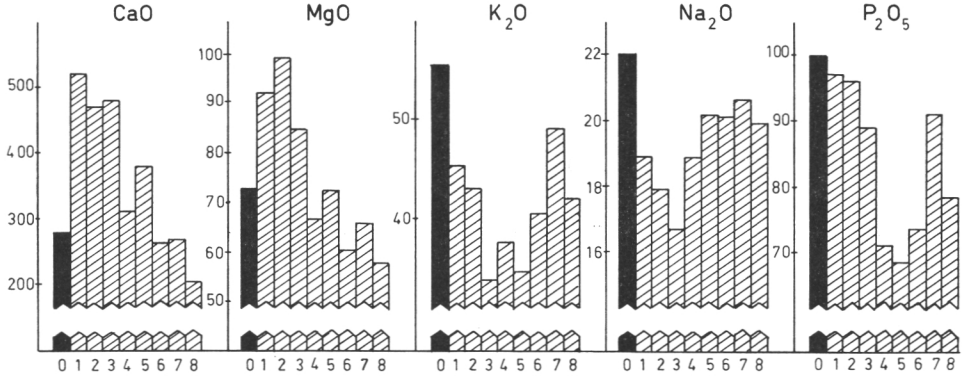


Fig. 13. Effect of burning on total of amount nutrients in humus layer (kg per ha).

The nutrient contents of the slash and ground vegetation were not analyzed, but according to the figures presented by M o r k (1946), T a m m (1953, 1964) and V i r o (1955) their quantities of potassium and calcium can be estimated at the same level as the total quantities in the humus layer. The amounts of phosphorus and nitrogen are probably greater in the humus layer.

Exchangeable nutrients

The quantities of exchangeable nutrients in the surface layers of the soil at various times after burning are shown in the diagrams of fig. 14, where the average for all the samples from unburned sites is used as a basis of comparison. Various burned sites of an age group could reveal substantial deviations from the general tendency in nutrient quantities, irrespective of whether the control sites were grouped according to the corresponding burned plots or a general average was employed. The averages for the control sites of the various groups, however, differed very little from one another, and the manner of presentation employed was found to be the most perspicuous one. Variations were observed in the results from the unburned sites, too, but these were much smaller. No clear differences could be found between the various localities.

To facilitate a general review, the nutrient quantities of the unburned sites are shown by fertility classes in table 2. The figures represent the amounts per areal unit, for these are the figures that are decisive in respect of the nutrient condition of the soil. The diagrams and tables thus take into account also soil coarser than 2 mm. The table shows that the quantities of nutrients and organic matter were generally largest on the most fertile soils; the only exception being phosphorus, which in the various layers of mineral soil was most abundant on VT and least abundant on OMT. The differences between the various forest site types, however, were fairly slight ones and were not statistically significant. It were only the amounts of calcium and magnesium that were distinctly greater on OMT than on VT and MT, but the number of OMT plots (8) was not regarded as being big enough for an analysis of the reliability of the differences.

The amount of exchangeable nutrients in the humus layer was greater on the burned site than on the unburned site in the year of burning, the only exceptions being potassium and sodium, whose amounts were equal in the two groups. With continuous leaching during the succeeding years, the amounts of potassium and phosphorus on the burned site declined at an almost equal rate, while magnesium declined more slowly and calcium most slowly. In about 10 years the leaching of potassium and phosphorus attained its maximum. At that time the humus layer of the burned site

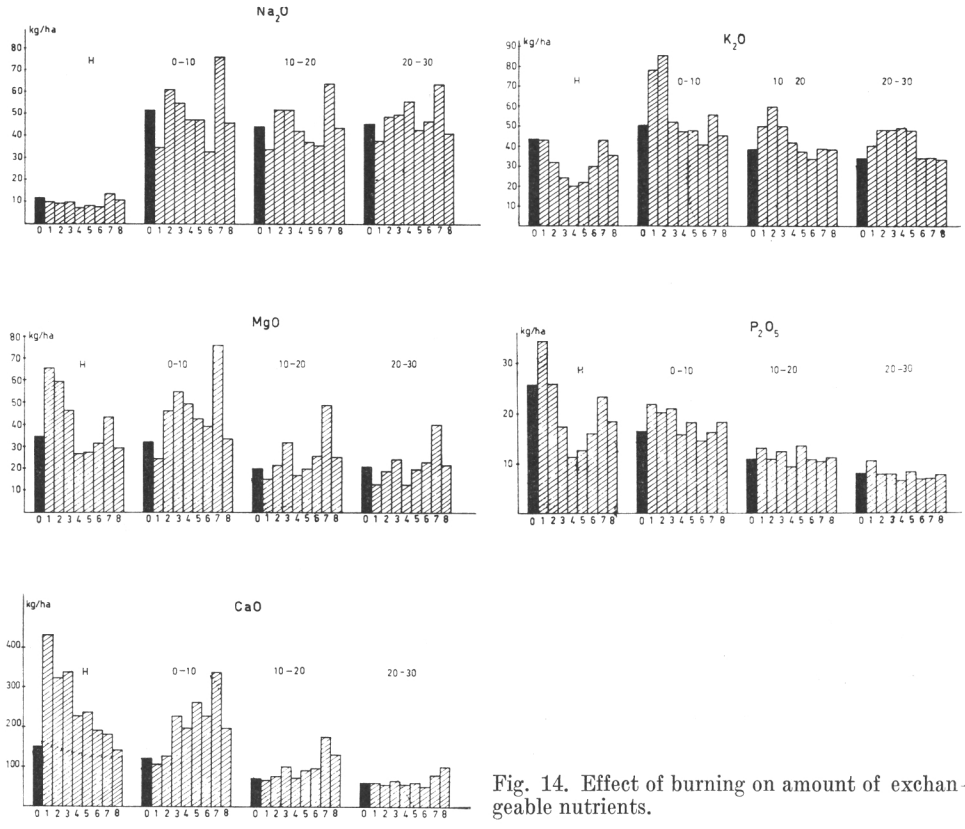


Fig. 14. Effect of burning on amount of exchangeable nutrients.

contained approximately 50 per cent less exchangeable potassium and phosphorus than did that of the control sites. The excess of magnesium was retained for 6 years on the burned site. Subsequently it was about 25 per cent below normal, but after 12 years a tendency towards an increasing amount of magnesium could be observed. There was about 3 times the normal amount of exchangeable calcium in the humus of the burned site in the year of burning. This declined gradually, and at the end of the research period the amount of calcium was equal in the two groups. The amounts of potassium, phosphorus and magnesium in the humus layer did not attain their normal levels by the end of the research period. The changes in the quantities of sodium showed the same direction as those of potassium but were relatively much smaller.

The poor fixation of potassium to the humus layer is very clearly seen when the mineral soil is examined. Already in the year of burning, and even more clearly in the two following years, the surface layer of the mineral soil held more potassium on the burned site than on the control site, and the increase was clearly discernible down to the 20—30 cm level. The dif-

Table 2. Exchangeable nutrients, organic matter and total nitrogen of soil.

Site type	Soil layer cm	P_2O_5	MgO	K_2O	CaO	Org.	N
		kg/ha				tons/ha	
VT	H	20.3	22.8	34.6	123.0	28.4	0.434
	0—10	18.8	25.9	47.4	95.5	25.9	0.793
	10—20	12.9	17.8	36.2	57.7	18.9	0.654
	20—30	8.8	17.1	32.8	54.8	12.2	0.460
	30—60	27.3	48.6	88.2	129.9	13.8	0.822
MT	H	28.0	38.6	45.9	164.6	35.4	0.623
	0—10	17.0	30.3	52.2	111.6	29.0	0.893
	10—20	10.3	18.3	38.8	76.9	20.9	0.759
	20—30	7.4	21.3	34.0	62.4	14.1	0.561
	30—60	22.8	53.7	94.5	132.0	17.1	0.972
OMT	H	22.9	43.4	44.9	202.6	29.3	0.565
	0—10	12.8	57.8	61.8	372.5	38.8	1.265
	10—20	8.5	29.5	47.9	150.4	23.7	0.907
	20—30	8.0	25.7	44.3	98.2	19.4	0.755
	30—60	17.1	87.6	115.3	285.6	29.0	1.257

ference was more persistent in the deeper layers than in the surface soil, and lasted for 12 years in the 20—30 cm layer. After the excess amount of potassium produced in the burning had disappeared from the mineral soil, the remaining potassium did not fall below the level of the control sites in any of the layers of mineral soil.

In the year of burning, the amounts of sodium and magnesium in the mineral soil showed a decline in all the layers to a depth of 30 cm. A very slight decrease was observed in the amount of calcium in the layers 0—20 cm.

Potassium showed a weaker adsorption than calcium or magnesium to mineral soil too. Sodium was leached from the humus fairly easily, and was also leached more easily than potassium from the mineral soil. An increase in calcium in the surface layers of the mineral soils was found 4 years subsequent to burning, and on the oldest sites the amount was more than double that on the unburned sites. Deeper down, the amount of exchangeable calcium was fairly small. The addition caused by the burning was clearly observable in the 10—20 cm layer from the fourth year on, but was hardly observable at all in the 20—30 cm layer. Magnesium was found to be slightly more mobile than calcium in the mineral soil too. In the surface soil the amount was normal on the oldest burned sites, slightly above normal in the 10—20 cm layer and almost normal again at 20—30 cm.

There was thus a distinct difference in the adsorption to soil between calcium and magnesium on the one hand and potassium and sodium on the other, in the sense that the potassium and sodium were adsorbed poorly to the humus in particular. The minerals in the burned humus consist initially mainly of carbonates; and the alkali metals, being the most soluble, are the

first to dissolve and there is consequently a rapid decline in their quantity in the humus layer. A relatively much larger amount of alkali metals than of alkali earth metals and hydrogen enter the soil solution, with the consequence that the alkali metals, despite their poorer adsorptive capacity, are able through the law of mass action effect partly to displace the alkali earth metals. The decrease caused by ion exchange in the year of burning was found to be weak in the case of calcium, but was distinct in the case of magnesium and hydrogen even at a depth of 10—20 cm. In subsequent years the concentration of alkali metals in the soil solution showed a substantial decrease, and the alkali earth metals began to displace them in the mineral soil too. However, even after 12 years the amounts of potassium and sodium in the layer 20—30 cm were greater than on the control sites. The total amount of potassium in the humus layer was about 2.5 times that of sodium, and the proportion between these nutrients was probably the same in the burned organic matter as a whole. On account of the relative quantities, the great amount of potassium in the ash caused a decrease also in the sodium of the mineral soil in the year of burning.

Phosphorus became more firmly fixed to the mineral soil than to the humus, and in the layers 0—20 cm its amount was as great as that of the control sites throughout the whole period of research. In the year of burning, the amount of phosphorus in the 20—30 cm layer was greater on the burned site; but from the thirteenth year onwards the amount was greater on the control sites.

With the exception of the year of burning, the diagrams describing the amounts of potassium and phosphorus in the humus layer were much alike. The correlation coefficient between the amount of exchangeable potassium and that of easily soluble phosphorus was 0.83*** in the unburned samples and 0.78*** in the burned samples. Thus the correlation is quite distinct, despite the fact that the proportions of easily soluble nutrient to the total nutrient amounts in the humus are quite different (K 75 %, P 25 %). Potassium is present in inorganic form in plants, while phosphorus occurs in both inorganic and organic form (Kramer & Kozlowski 1960). The solvent used in the analysis does not extract organically bound phosphorus, while potassium is supposed to be totally exchangeable. The fact that the amount of exchangeable potassium was smaller than that of total potassium may be due in part to the fact that some of the total amount of potassium in the humus originates in the mineral soil present in the humus, and in part to the fact that the sample was coarsely milled and the potassium was consequently not completely dissolved. The potassium and the inorganic phosphorus were probably almost completely dissolved, and it would follow that about 75 per cent of the phosphorus was organically bound.

In the case of the potassium and the phosphorus, it can be seen that

the soluble amount in the humus of the burned site declined in about 10 years to below half the amount of the control site, despite the fact that the figures for the burned site include the amounts from the burned slash and moss and that only about 25 per cent of the organic matter of the humus layer had burned. It can hardly be expected that heating would cause much of an increase in the solubility of these nutrients. It is more likely that the lower layers of humus (H) contain less nutrients than the higher ones (F). It has been found that there is a movement especially of potassium, nitrogen and phosphorus into the living parts of the trees when the needles or leaves turn yellow (V i r o 1955), and the same phenomenon probably occurs in mosses too. There is probably some translocation of other nutrients too. According to T a m m (1953) this movement is, indeed, smaller in mosses than in trees. Thus, the greater leaching of nutrients from the H layer is probably also important.

It was noted above that the exchangeable quantity of several nutrients in the humus decreased initially after the burning but began to increase after about 10 years. This is clearest in the cases of potassium and phosphorus and for ammonia, nitrate and total nitrogen. This increase is probably the result of the changes in the amounts of grass and herb vegetation. These take up nutrients from the soil and thus decrease the leaching that is caused by the burning. The litter from these plants decomposes rapidly, and the nutrients thus re-enter organic circulation.

Fig. 14 shows that the changes in the amounts of nutrients usually occur consistently during the first years after burning, but that irregularities can be found later. Possible errors in analysis may contribute to this, and another important reason may be the varying developments of ground vegetation and tree stands. Variation in the intensity of burning and also uneven burning which is difficult to estimate on the oldest burned sites especially may, however, have a greater effect. In the study made by U g g l a (1958 b), for instance, the pH of the F layer varied within the limits 6.4 and 9.5 and that of the H layer within 6.1 and 8.6 on a single site immediately after burning, which is an indication of great local variation. Also E n e r o t h (1928) found that there was great variation in the nutrient content of burned samples. From the viewpoint of leaching the water-holding capacity of the soil is also of importance. Variations in the amounts of nutrients on the plus side are most commonly found in the 20—32 year group, and on the minus side in the 7—9 year group. The water-holding capacity is slightly greater in the former group, and slightly smaller in the latter group, than it is in others; but the differences are nevertheless quite small ones. A completely reliable explanation for these irregularities could not be found.

EXAMINATION OF THE RESULTS

Active and Exchange Acidity

During prescribed burning the surface vegetation, most of the slash and part of the humus layer are burned up. The ash produced caused a decrease in the acidity of the humus layer of up to 2.4 pH units depending on the intensity of the burning, and the acidity reverted to its former level in about 50 years. According to U g g l a (1957), acidity would revert to its former level already within 25 years after burning. In the mineral soil the decrease in acidity could be clearly observed to a depth of 20 cm.

The most active part of the soil is the clay complex, in which the ion exchange, etc. takes place. In natural conditions the amount of the various ions in the complex is in balance, but during burning a lot of electrolytes enter the soil and the balance is disturbed. In mineral soil the increase in electrolytes is greatest in the surface layer, and the disturbance in the ionic balance of this layer is clearly observable in the correlation coefficients between active and exchange acidity, which was shown on page 21.

The correlation coefficients between the *active* hydrogen ion concentration and each exchangeable cation concentration were negative in all the soil layers but frequently very low. The correlation with magnesium was always a significant one, as was the correlation with sodium in the mineral soil. The correlation with calcium was significant only in the humus layer, and no correlation coefficient was significant with potassium.

The correlation coefficients between *exchangeable* hydrogen ion concentration and the cations were negative in the humus layer. On unburned lands, only the correlation with magnesium was significant (—0.37***), and on burned lands the correlations with magnesium and calcium (—0.44*** and —0.63*** respectively). In the 0—30 cm layers of the mineral soil, the negative correlation initially declined and then became a positive one. All the correlation coefficients in the subsoil were positive. In the subsoil of the unburned sites the correlation coefficients with magnesium, calcium and potassium were significant (Mg 0.41***, Ca 0.52***, K 0.41*** respectively), and on the burned sites the coefficients with magnesium and calcium (0.41***, 0.25* respectively).

It emerges from the above that the relationship between the exchange acidity and the nutrient cations is different in the humus layer, the surface soil and the subsoil. The most essential thing is that there was a positive correlation in the subsoil between the exchangeable hydrogen and the exchangeable nutrients, i.e. with increasing amounts of cations the acidity also increased; and that in the surface layer there was no correlation between them. In explaining the phenomenon, no other cause was found apart from

that in the subsoil the degree of base saturation in the minerals that influence the cation exchange is perhaps about 50 per cent. This question, like the question of leaching, cation-exchange capacity and degree of base saturation of the nutrients, will be examined in greater detail in a later paper.

Biological Effects of Burning

That part of the vegetation that is above the ground is almost completely destroyed by prescribed burning, but a lot of subterranean regenerative organs remain alive. It can be seen from the diagrams showing the development of the vegetation that grasses and herbs are the first to appear on a burn, but that their quantity, especially that of the herbs, quickly decreases while there is an increase of mosses, lichens and dwarf shrub. This takes place concurrently with the closing-in of the sapling stand. In other words, there is at first a short period when herbs are dominant, then a longer period of grasses. On the oldest sites the coverage of dwarf shrub had reached its normal level. The coverage of lichens on the oldest sites was 5 times the normal, while that of the mosses was only half the normal. The observations made by U g g l a (1967) conflict almost totally with these. The difference may be due chiefly to the fact that the study by U g g l a was made on much more barren lands and in a colder climate than the present study.

The speed of decomposition varies for plant species and litter of various kinds. It is not possible to construct an accurate scale of the rate of decomposition, but in general the herbs are the quickest to decompose, followed by the leaves of deciduous trees and blueberry, conifer needles, grasses, heather and lingonberry leaves and lastly the mosses and lichens (M i k o l a 1954, V i r o 1955). There is a great amount of roots of trees and dwarf shrubs in the humus layer, and it would seem that the decomposition of the latter in particular is slow.

Part of the nitrogen in the humus was converted during burning into the ammonia form. Some of this nitrogen became bound to the humus that remained unburned. Yet a high percentage of the humus nitrogen evidently escaped together with the burning gases in various compounds. The amount of ammonia nitrogen measured directly was, in the second year, double that of the control site, while the amount measured in incubation was less than on the control site. According to O v e r r e i n (1967), there occurs in incubation at a temperature of 20°C a rapid immobilization of mineral nitrogen, and in the present work too a substantial part of the nitrogen that was mineralized in incubation obviously became biologically bound. The decrease in acidity caused by the burning is favourable to nitrification,

and this could be seen in the incubated samples throughout the research period. According also to Heikinheimo (1917), Hesselman (1917) and Eneroth (1928), nitrification is increased by burning.

CO_2 evolution is generally employed as a measure of biological activity. There was no correlation between acidity and CO_2 evolution. The correlation coefficient between the amounts of ammonia nitrogen and CO_2 evolution was 0.56*** on the burned sites and 0.39*** on the control sites. There was no correlation between nitrate nitrogen and CO_2 evolution.

On average, 1.96 mg per 100 g of nitrate nitrogen was generated in incubation in burned humus, and 1.34 mg per 100 g in unburned. The quantities depended to some extent on the acidity of the humus; the correlation coefficient between the pH and the amount of nitrate was 0.38*** on burned sites (0.51*** if the samples of the year of burning are excluded) and 0.31** on unburned. In the burned humus 45.8 mg of ammonia nitrogen per 100 g was found, and on unburned 63.1 mg per 100 g. A significant correlation with the pH was established only on the unburned land (0.44***), but if the samples from the year of burning are excluded, there was a low negative correlation between the pH and the quantity of the ammonia ($r = -0.24$*). It is possible that the biological fixation increased so greatly with the acidity conditions of the burned sites that no increase was observed in ammonification, for unfortunately it was only net ammonification that could be measured, and this decreased with decreasing acidity. A less acid reaction would on the whole be likely to favour nitrification at the expense of ammonification. A lot of ammonia was generated during burning and became partly bound to the unburned humus, and could still be found in it the following year. This nitrogen was not found in the incubation tests, probably because of rapid nitrification in favourable temperature conditions.

The soil temperature is highly dependent on the thickness of the humus layer. The vital processes of plants are dependent on the soil temperature, and so in particular is microbial activity. Most of the mineral nitrogen in the soil is in the ammonia form. It was pointed out above that the amount of ammonia nitrogen in burned samples decreased in incubation (app. 20°C), while there was an increase in the amount of nitrate nitrogen. The present study does not definitely establish the effects of burning upon the mineralization of nitrogen, for the figures indicate only the net mineralization, and this only in laboratory conditions.

The results now obtained are very similar to earlier results on the effects of liming (Viro 1963), i.e. net nitrification increased, and net ammonification decreased, as a consequence both of liming and of burning. The laboratory study mentioned showed that liming had a great effect on the microbial population, and most distinctly in increasing the number of nitrogen-fixing bacteria when the acidity decreased. The burning of the moss layer and the

thinning of the humus layer improve the thermal conditions of the soil, and this has a great effect on biological activity in the soil (cf., e.g. Overrein 1967 a, b). According to our unpublished study, the evolution of CO_2 doubled at a temperature of 12.5°C and quadrupled at 20°C, as compared with a temperature of 5°C. It seems evident that the temperature of the humus layer in the forests of southern Finland does not generally rise above 10—12°C, and that it is always below the optimum for microbes. In northern Finland the effect of temperature on humus decomposition is even more marked (Mikola 1960). It is thus evident that prescribed burning in many ways promotes microbial activity in general and also the mobilization of nitrogen. Analyses made immediately after the samples were taken also suggest this.

It is true that the correlation coefficients established were low. No attempt was made to seek other factors influencing the biological activity, but it is presumed that the most important reason for the low correlations is the wide dispersion in the basic material caused by the varying intensity of burning. In any case, it is obvious that some of these phenomena depend partly on one another or on identical factors.

Exchangeable Nutrients

The slash and the humus release a large amount of nutrients, chiefly carbonates and oxides, during burning. Magnesium and especially calcium are leached out of the humus slowly, potassium and sodium rapidly. In mineral soil, leaching occurs in accordance with the theoretical fixation capacity of these ions, but initially the abundance of potassium and sodium in the soil solution causes leaching of the calcium and magnesium in accordance with the law of mass action. Most important for the growth of trees is the amount of nutrients in the surface layer of the soil, for it is here that most of the tree roots occur. In mineral soil to 30 cm depth the burned sites held total amounts of exchange calcium and magnesium equal to or bigger than those of the unburned sites throughout the research period, while the amount of potassium was greater for 12 years and that of sodium smaller throughout.

The increase in the total amount of easily soluble phosphorus caused by the burning was clearly observable for 3 years only. In the immediately following years (4—6), the summed-up amounts to 30 cm depth were of almost identical magnitude in both groups, while they were afterwards greater on the unburned sites. The difference could be seen most clearly in the humus layer.

The total amounts of exchangeable calcium, magnesium and sodium in the soil layer studied did not evidently change much during burning, for the amount taken up by the new vegetation was probably as great as that released by the burned slash and humus. Some potassium is leached beyond reach of the plants, but the amount cannot be very big. Potassium was leached fairly easily from the humus, but was bound fairly well to the mineral soil. Compared with the available potassium resources of the soil, any losses are negligible.

It seems that burning may increase the leaching of phosphorus. The total amount of phosphorus in the humus layer was not greater than that of the unburned sites even in the year of burning, and the increase in the amount of easily soluble phosphorus was noticed in all soil layers including subsoil in the year of burning, which shows that it is fixed poorly to mineral soil too. In the following 5 years an increased amount of phosphorus was found to be distinct only in the surface layer of the mineral soil, while there was a decrease twice as great in the amount of phosphorus in the humus layer. Yet, the phosphorus was fixed better to the humus layer than was the potassium. Despite the increase caused by the burning, the total amount of easily soluble phosphorus in the H-30 cm layer was 25 per cent smaller on the burned sites than on the unburned sites after 9 years. Subsequently, the amounts began to increase, but were still 10 per cent smaller than on the control sites at the end of the research period. Some of the phosphorus released from the humus layer, however, may have formed compounds with iron and aluminium, which do not dissolve in the solvent employed. Consequently, there can be no question of any great loss of phosphorus.

SILVICULTURAL SIGNIFICANCE OF PRESCRIBED BURNING

The purpose of prescribed burning is to speed up the regeneration of a forest stand, to improve the fertility of the site, and, when necessary, to facilitate a change in the species of trees. Where the silvicultural effects of fire are concerned, a distinction must be made between wild forest fires and controlled burning, i.e. prescribed burning. Forest fires usually start during periods of drought, and their effect may be much greater than that of prescribed burning.

The fertility of a site depends chiefly on water, temperature and nutrients. On morainic soils, and usually on water sediments, too, there is at least a satisfactory supply of water, although the most barren sites have only enough water for pines. In southern Finland the temperature is usually not the most important growth-restricting factor, but it becomes increasingly



Fig. 15. A well-burned stony morainic soil. VT. Simpele. Burned June 1966. Photo August 1966.

important towards the north. However, it is known that the temperature of the soil, especially under a thick cover of moss and humus, is far below the optimum, e.g. for microbial activity, even in southern Finland. According to fertilization experiments, upland soils have a shortage chiefly of available nitrogen. There is a shortage of phosphorus on fertile sites only, and especially if the growth has been boosted by nitrogen fertilization. Only exceptionally has a shortage of potassium been found in fertilization experiments.

Prescribed burning affects all the above growth factors (cf. also M e l e h o v 1966). The effect on the moisture of the soil is ambivalent. A moss and humus layer hold rainwater well, and also hinder evaporation. Depending on the circumstances, the effect of burning on the soil moisture may thus be favourable or unfavourable. The effect on the temperature factor is almost exclusively favourable. Only if the humus layer is completely burned can the temperature of the mineral soil rise so high on the hottest days that seedlings may die (cf. V a a r t a j a 1950). The effect of burning on the availability of nutrients of the soil is also almost exclusively positive. Special attention is drawn to its effect on the mobilization of nitrogen. True, burning does decrease the total amount of nitrogen in the soil, but this is obviously of no importance for the fertility of the site. The effect of burning on the possible leaching away of phosphorus must be regarded as being unfavourable. The quantities in question, however, are very small ones. The most fertile sites, where the problem of a shortage of phosphorus may arise, are

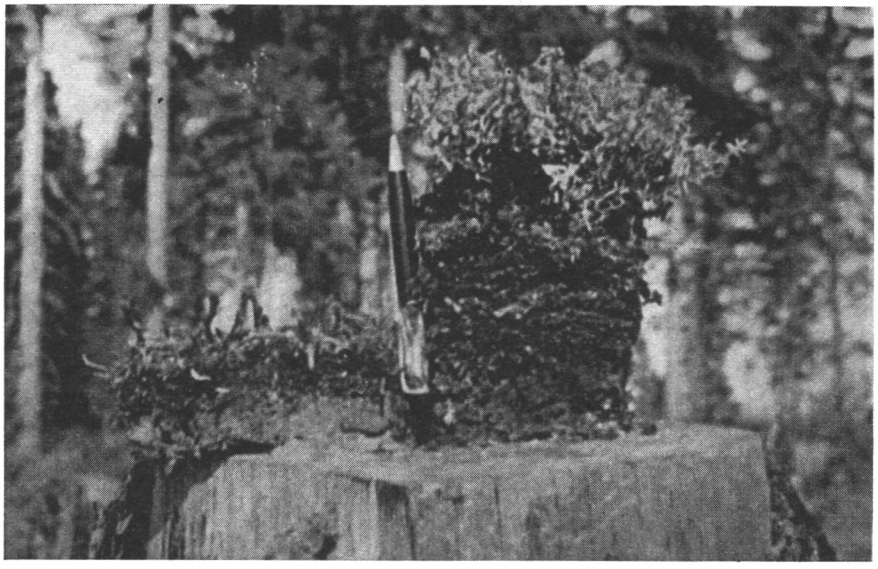


Fig. 16. Burning of this intensity can be recommended. VT. Pylkönmäki. Photo June 1960.

generally not burned. On the other hand, the growth on the most barren sites is chiefly dependent on moisture and available nitrogen, and no primary shortage of phosphorus has been found there.

In terms of site fertility, the herbs are the most exacting form of vegetation, followed by the grasses. The abundance of both of these on burned sites, and especially of herbs, is a result not only of a lack of competition but also of the good dynamic nutrient and moisture conditions. The abundance of grasses and herbs on young burned sites may consequently lead to an overestimation of the static fertility if the site-type classification of C a j a n d e r (1949) is used, and the abundance of lichens on older burned sites to an under-estimation. In the forest, fire destroys the undergrowth trees and other vegetation and the slash and part of the humus layer. The burning of slash may be harmful in the sense that it may have protected the seedlings against the pressure of snow in winter and excess heat in summer; but probably of greater importance is the release of the nutrients contained in the slash, which may take a very long time in natural circumstances. The elimination of the slash decreases the need for human labour in reforestation, and facilitates the work of machines. There is hardly any harm in burning the moss layer, while the conversion of its nutrients into a utilizable form is desirable, and it is very significant that the burning of the moss layer improves the thermal conditions of the soil and the preconditions for the seedling stock. The burning of most of the humus layer can generally be regarded as being favourable for the same reasons. According

to Sarvas (1937 b) and Mikola et al. (1964), pine seedlings definitely grow better on intensely burned places than on slightly burned or unburned places. Burning may destroy the mycorrhizae in a thin layer of surface soil only.

A total burning of the humus layer, however, is not to be regarded as being desirable, nor is prescribed burning to be recommended on land with a thin layer of humus. Such land is generally barren, usually because of the poor water-holding capacity of the soil, and released nutrients are quickly leached away. After an intense fire, lands of this type may remain unforested for decades. Aaltonen (1945) warns against burning on dry and stony uplands. It seems, however, that prescribed burning can well be recommended for stony morainic soils. On these, there is a thick layer of humus between the stones (Viro 1958), and the danger that all the humus will be burned up is not a very great one. After burning, reforestation is also technically much easier on these soils. According to Borg (1931), burning is not suitable for lichen heaths. Nor is it suitable for the most fertile soils, unless there is actual swale cultivation. According to Mr. V. Seppänen, fertile lands too can be burned, but these must be burned more intensely than normal in order to destroy the root systems of the grasses (oral report).



Fig. 17. Severe wild forest fire burned the tree stand of this barren CT-site on esker gravel in 1930. Sown and planted several times. Seedlings 0.5 to 2 m high. Snowcover 30 cm. Oripää. Photo S. Saarnijoki April 1969.



Fig. 18. An one-year-old burn of very stony VT moraine hillock. Lammi. Author's photo August 1960.

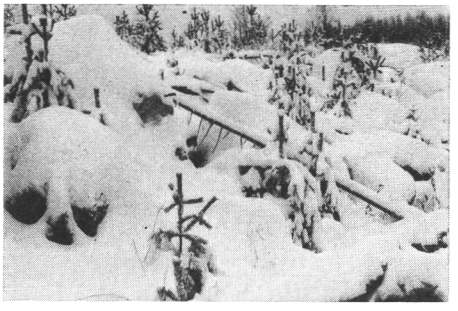


Fig. 19. Seedling stand of the same hillock 8 years later. Fully satisfactory reforestation. Photo E. Paavola January 1969.

The favourable effect of burning in promoting stocking with seedlings is generally recognized. According to the growth and yield tables of Ilvessalo (1920), the average height of a VT-MT pine stand is about 4 metres at an age of 20, and about 7 m at age 30 years. When the former length of time had elapsed after burning, a rapid decrease in grass and herb vegetation was observed, which was evidently a result of the closing-in of the stand. It has not been possible to compare the growth of seedlings on burned sites with those growing on unburned sites, for it was not possible to obtain enough adjacent and identically aged forest stands of these two types, but this growth is probably at least as great as indicated by the figures of Ilvessalo. According, e.g. to Vuori (1913), Hesselman (1917), Eneroth (1928, 1931) and L. Borg (1935), a very well growing stand of pines may emerge on burned land. According to Eneroth, the good growth of the seedling stand on burned land, even after the termination of nitrification, is a result of the fact that burning favours deciduous trees, whose litter decomposes rapidly. It seems that the abundance of grass and herb vegetation in the years subsequent to burning is at least as important. As a consequence of decreased acidity on the burned sites, nitrification too was greater than normal and showed a tendency to increase in the oldest age groups. There are also more mineral nutrients on the burned than on unburned land for decades after burning, a possible exception being phosphorus.

According to Wiebeck (1932, 1959), a pine stand grows better on burned land than on unburned land, while spruce grows worse. According to Uggla (1967), spruce grows well initially on a burned site, but after a few years it grows better on unburned land. Spruce has not been used in Finland in the reforestation of burned sites. Actually, one of the most important reasons for prescribed burning is the poor growth of spruce on dry upland soils, where pine would be the most advantageous species economically. Spruce may be the dominant tree species there, or may occur as a thick



Fig. 20. Vigorous grass vegetation 3 years after burning, mainly *Calamagrostis arundinacea*. VT. Ruokolahti. Author's photo August 1961.

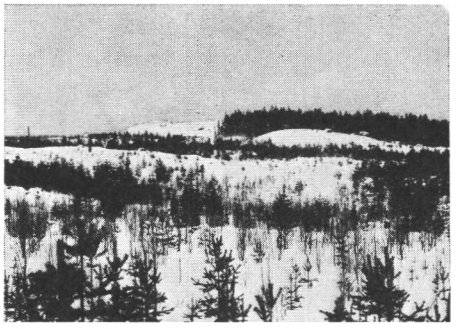


Fig. 21. Same place 7 years later. Grass has not hindered reforestation. No measures were taken to prevent grass growth. Snowcover 60 cm. Photo H-P. Blauberg January 1969.

stand of saplings under the pine stand. In either case, cutting will result in a spruce stand of stunted growth. Fire is an extremely effective way of destroying a thick stand of spruce saplings or a stand of spruce of small or stunted growth.

When natural reforestation or planting is employed, an abundance of easily soluble salts may destroy the seedlings at the cotyledonal stage. The spruce seedlings especially are easily destroyed at this stage (H e i k i n h e i m o 1915). This danger is smaller in artifical forestation, for burning does not greatly affect the concentration of nutrients in mineral soil. Thus prescribed burning must generally be regarded as being advisable in most cases in respect of the water, temperature and nutritional conditions of the soil. In general, burning has a favourable effect on those very factors of growth which are in unsatisfactory supply.

Prescribed burning also has disadvantages. If lands with thin humus layers are burned too intensely, the whole humus layer may be consumed. This may produce unfavourable thermal and moisture conditions, and regeneration may take decades. There are plenty of cases of this type as a result of wild forest fires, for forest fires usually occur during the driest periods of the summer.

During the gathering of the material for the present study no burned-site place was found that had remained unforested, although some of these plots were on fairly coarse soil with thin humus. It seems evident that a total burning of humus occurs only in very dry periods. If a barren upland has an abundant growth of heather or of stunted spruce, prescribed burning can well be recommended for its destruction, but the burning should be done at such a speed that it destroys only the harmful competitor and not all the thin humus layer. The fear that the humus layer would be burned all too thoroughly probably derives from an examination of the difficulty of reforestation after certain wild forest fires.

In some cases the burned site may produce such a lush ground vegetation that this interferes with the growth of the seedling stock. The effect of grass growth in preventing reforestation, however, has obviously been exaggerated (cf. p. 18 and figs. 20—21). In recent years a great amount of *Rhizina undulata* has been found on burned sites, and this may have destroyed the young stock of seedlings almost completely. Observations made of this fungus indicate that its occurrence shows great variation, and the possibilities of countering it are still unknown. According to the observations made by Mr. E. Paavola, the occurrence of *Rhizina* is an indication that the burning was not intense enough (oral report).

Among factors restricting the employment of prescribed burning are those of weather conditions, for these may entirely preclude prescribed burning in a wet summer, for then the humus will not burn sufficiently, and in a dry summer on account of the danger of forest fire. Also, the period suitable for prescribed burning may be a very short one. Consequently, when forest work is being planned it is never possible to fix any definite prescribed burning date in advance. On small sites, prescribed burning with subsequent supervision may be fairly expensive. On the other hand, large prescribed burns (up to 3 000 hectares) have generally produced poor results. However, there have been large-scale burns only in northern Finland, and the reason for poor development of seedlings may be, e.g. the wrong provenance of the seed.

A comparison between the advantages and the disadvantages of prescribed burning leads to the conclusion that the advantages clearly outweigh the disadvantages. The most important advantages are the improvements in the nutrient and thermal conditions of the soil, and the opportunity of selecting a species of tree that is suitable for the site. Some of the favourable effects of prescribed burning are sought through fertilization, scarification and tilling, etc. However, none of these can produce all the benefits of prescribed burning.

SUMMARY

The main purpose of the present study was to examine the effects of prescribed burning on the nutrient status of the soil. The material comprises 92 sample plots that had been burned from 1 month to 50 years previously, and also unburned control sites.

Prescribed burning destroys that part of the vegetation that is above the ground, and only the subterranean organs of regeneration survive. After burning, the land was first dominated by herbs for a short period and then by grasses for a longer period, during which times their amounts greatly

exceeded the normal levels. The amount of dwarf shrubs on the oldest burned sites was about to reach the normal level. The amounts of mosses and lichens stabilize slowly, and in 50 years the former had reached half its normal level and the latter 5 times its normal level.

Some of the nitrogen of the humus layer was converted during the burning into the ammonia form. Burning decreased the acidity of the soil and thus promoted nitrification. A lot of nutrients were released from the burned organic matter, and in 50 years the nutrient situation reverted almost to its former level. The burning may have caused a slight leaching away of phosphorus to a distance beyond the reach of the tree roots, but losses of other mineral nutrients were evidently negligible. Most distinct was the loss that burning caused in the nitrogen of the humus layer, but this did not affect the fertility of the site.

The chief purpose of prescribed burning is to facilitate pine reforestation, especially on dry uplands that bear spruce or a thick spruce undergrowth and also wherever there is a thick layer of humus. As to the nutrient status of the soil, prescribed burning is to be recommended, for the nutrients bound in the humus will then become available and some of the organic nitrogen will be converted into the forms of ammonia and nitrate. Too, the thinning of the humus layer has a favourable effect on the thermal conditions of the soil. As to the nutrient and temperature status of the soil, it would be preferable if the humus layer were burned up almost completely; but the efficiency of prescribed burning depends greatly on the weather conditions.

Prescribed burning may be recommended for reforestation whenever the humus layer is thick or when a pine stand is desired on a barren site bearing a spruce stand or a dense growth of dwarf spruces.

LITERATURE CITED

Aaltonen, V. T. 1941. Metsämaamme valtakunnan metsien toisen arvioinnin tulosten valossa. Referat: Die finnischen Waldböden nach den Erhebungen der zweiten Reichswaldschätzung. Comm. Inst. Forest. Fenn. 29.5.

—»— 1945. Metsämiehen maaoppi. 2nd ed. Helsinki.

Ahlgren, C. E. 1969. Some effects of prescribed burning on jack pine reproduction in Northeastern Minnesota. J. Forestry (in press).

Ahlgren, I. F. and Ahlgren, C. E. 1960. Ecological effects of forest fires. The Botanical Review 26, pp. 483—503.

—»— 1965. Effects of prescribed burning on soil microorganisms in a Minnesota jack pine forest. Ecology 46, pp. 304—310.

Ahola, V. K. 1937. Havaintoja viimeaikaisista metsänhoitotöistä valtionmetsissä. Referat: Beobachtungen über die in letzter Zeit ausgeführten Waldbauarbeiten in den Staatswäldern. Silva Fenn. 39, pp. 284—297.

Blomqvist, A. G. 1881. Finlands trädslag i forstligt hänseende beskrifna. I. Tallen. SMJ. 3.

Borg, A. 1926 a. Ne kalliit kulttuurit. Metsät. aikak. 43.

—»— 1926 b. Kulopaloalojen metsittäminen. Keskusmetsäseura Tapion käsikirjasia 19.

—»— 1928. Tuli metsänhoidon palveluksessa. Ibid. 21.

—»— 1930. Metsänviljelys. Handbook »Maa ja metsä IV. 2». Helsinki.

—»— 1931. Metsän kylvö ja istutus. Keskusmetsäseura Tapion käsikirjasia 15.

Borg, L. E. T. 1935. Hankikylvöt Tuomarniemen hoitoalueessa vv. 1913—1930. Referat: Die 1913—1930 ausgeführten Schneesaaten im Revier Tuomarniemi. Silva Fenn. 38.

Cajander, A. K. 1910. Metsiemme uudistushakkaukset toisiinsa verrattuina. Maahenki II.

—»— 1949. Forest types and their significance. Acta For. Fenn. 56.

Eneroth, O. 1928. Bidrag till kännedomen om hyggesbränningens inverkan på marken. Referat: Beiträge zur Kenntnis der Einwirkung des Schlagabbrennens auf den Boden. Skogshögskolans festskrift. Festskrift utgiven med anledning av Skogshögskolans 100-års jubileum 1828—1928.

—»— 1931. Försök rörande hyggesaskans inverkan på barrträdsfröets groning och plantornas första utveckling. Referat: Versuche über die Einwirkung der Asche von Schlagabbrennen auf das Keimen des Nadelbaumsamens und die erste Eintwicklung der Pflanzen. Comm. Forest. 5.

Ericsson, B. 1901. Kortfattad förslag till forstligt försöksväsende i Finland. SMJ. 19.

Hackstedt, J. 1908. Kaskiviljelys metsänhoidolliselta kannalta katsottuna. SMJ. 25.

Hanioja, P. 1961. Mikrobiologian mahdollisuuksista metsäntutkimuksen aputieteenä. Metsät. aikak. 1961.

Heikel, T. A. 1905. Om värdering af brandskador å skogsmark. SMJ. 20.

Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. Referat: Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands. Acta For. Fenn. 4.

—»— 1917. Metsänhävityksen ja polton vaikutuksesta metsämaahan. Ibid. 8, 3.

Hesselman, H. 1917. Om våra skogsföryngringsåtgärders inverkan på salpeterbildningen i marken och dess betydelse för barrskogens föryngring. Summary: On the effect of our regeneration measures on the formation of saltpetre in the ground and its importance in the regeneration of coniferous forests. Medd. stat. skogsförs. anst. 13—14, pp. 923—1076.

—»— 1934. Några studier över fröspridningen hos gran och tall och kalhyggets besåning. Referat: Einige Beobachtungen über die Beziehung zwischen der Samenproduktion von Fichte und Kiefer und der Besamung der Kahlhiebe. Ibid. 27, pp. 145—182.

Ilvessalo, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. Acta For. Fenn. 15.

Ilvessalo, L. and Laitakari, E. 1930. Metsikön uudistus. Handbook »Maa ja metsä IV. 2».

Kaila, A., Köylijärvi, J. and Kivinen, E. 1953. Influence of temperature upon the mobilization of nitrogen in peat. Maat. aikak. 25, pp. 37—46.

Kalela, E. K. 1949. Männiköiden ja kuusikoiden juurisuhteista. I. Summary: On the horizontal roots in pine and spruce stands. I. Acta For. Fenn. 57.2.

Karppelin, S. and Laukkanen, U. 1958. Kuusikoiden humuksen piihappoisuudesta. Typed master's thesis. Dept. of Forestry, Helsinki University.

Kramer, P. J. and Kozlowski, T. T. 1960. Physiology of trees. McGraw-Hill. New York.

Kujala, V. 1926. Untersuchungen über den Einfluss von Waldbränden auf die Waldvegetation in Nord-Finnland. Comm. Inst. Forest. Fenn. 10.5.

—»— 1964. Metsä- ja suokasvien levinneisyys- ja yleisyyssuhteista Suomessa. Referat: Über die Frequenzverhältnisse der Wald- und Moorpflanzen in Finnland. Ibid. 59.1.

Laine, L. 1968. Kuplamörsky (*Rhizina undulata* Fr.), uusi metsän tuhosieni maassamme. Summary: *Rhizina undulata* Fr., a new forest disease in Finland. Folia For. 44.

Lemmetti, T. and Roos, H. 1959. Humuskerroksen paksuuden vaikutus metsämaan lämpöoloihin. Typed master's thesis. Dept. of Forestry, Helsinki University.

Lindfors, J. 1963 and 1964. Neljän vuosikymmenen hakkuu- ja hoitotyöt Suomen yhtiönmetsissä. Suomen puutalous.

Linnamies, O. 1966. Hakkuu- ja hoitotyöt Suomen yhtiönmetsissä vuosina 1960—1965. Suomen puutalous.

Lipas, E. and Mäki-Petäys, E. 1961. Kulotuksen vaikutus metsämaan lämpö- ja kosteusoloihin. Typed master's thesis. Dept. of Forestry, Helsinki University.

Little, S. jr. 1953. Prescribed burning as a tool of forest management in the northeastern states. Journ. For. 51, pp. 496—500.

Melehov, I. S. 1947. Pripoda lesa i lesnye nožapy. Arhangelsk.

—»— 1948. Vlijanie požarov na les. Goslestehizdat. Moskva—Leningrad.

—»— 1966. Rubki glavnogo plozovanija. Moskva.

Mikola, P. 1954. Kokeellisia tutkimuksia metsäkarikkeiden hajaantumisnopeudesta. Summary: Experiments on the rate of decomposition of forest litter. Comm. Inst. Forest. Fenn. 43.1.

—»— 1960. Comparative experiment on decomposition rates of litter humus in southern and northern Finland. Oikos 11, pp. 161—166.

Mikola, P., Laiho, O., Erikäinen, J. and Kuvaja, K. 1964. The effect of slash burning on the commencement of mycorrhizal association. Selostus: Kulotuksen vaikutus mykoritsainfektion alkamiseen. Acta For. Fenn. 77.3.

Mork, E. 1946. Om skogbunnens lyngvegetasjon. Summary: On the dawrf shrub vegetation on forest ground. Medd. Norske Skogforsøksv. Nr. 32, Bd. 9, H. 3.

Overrein, L. N. 1967 a. Isotope studies on the release of mineral nitrogen in forest raw humus. Ibid. 85, XXIII, pp. 541—565.

—»— 1967 b. Immobilization and mineralization of tracer nitrogen in forest raw humus I. Plant and Soil 27, pp. 1—19.

Pöntynen, V. 1926. Kulottamisesta. Keskusmetsäseura Tapion käsikirjasia 19.

Sarvas, R. 1937 a. Havaintoja kasvillisuuden kehityksestä Pohjois-Suomen kuloaloilla. Referat: Beobachtungen über die Entwicklung der Vegetation auf den Waldbrandflächen Nord-Finnlands. Silva Fenn. 44.

—»— 1937 b. Kuloalojen luontaisesta metsittymisestä. Referat: Über die natürliche Bewaldung der Waldbrandflächen. Acta For. Fenn. 46.1.

Svinhufvud, E. G. 1929. Suon polttoviljelyksen vaikutusten selvittelyä. Referat: Untersuchungen über die Einwirkungen des Brennens auf Moorboden. Suomen suonvilj. yhd. tiet. julk. 10.

Tamm, C. O. 1953. Growth, yield and nutrition in carpets of a forest moss *(Hylocomium splendens)*. Medd. Stat. Skogsf. Inst. 43, 1.

—»— 1956. The response of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. to different nitrogen sources in water culture. Physiol. Plantarum 9, pp. 331—337.

—»— 1964. Growth of *Hylocomium splendens* in relation to tree canopy. The Bryologist 67, pp. 423—426.

Tertti, M. 1937. Metsien luontaisen uudistumisen edistämisestä. Referat: Über die Förderung der natürlichen Verjüngung der Wälder. Silva Fenn. 39, pp. 87—96.

—»— 1938. Hakkausalan raivaamisesta. Referat: Die Aufräumung der Schläge. Ibid. 46, pp. 99—108.

Uggla, E. 1957. Mark- och lufttemperaturer vid hyggesbränning. Summary: Temperature during controlled burning. Norrl. skogsv. förb. tidskr., pp. 443—500.

—»— 1958 a. Skogsbrandfältet i Muddus nationalpark. Summary: Forest fire areas in Muddus national park. Acta Phytogeogr. Suecica 41.

—»— 1958 b. Ecological effects of fire on North Swedish forests. Almqvist & Wiksell, Uppsala.

—»— 1967. En studie över bränningseffekten på ett tunt råhumustäcke. English summary. Sv. Skogsvårdsförb. Tidskr., pp. 155—170.

Vaartaja, O. 1950. On factors affecting the initial development of pine. Oikos 2, pp. 89—108.

Viro, P. J. 1951. Nutrient status and fertility of forest soil. I. Selostus: Metsämaan ravinnesuhteet ja viljavuus. I. Comm. Inst. For. Fenn. 39.4.

—»— 1955. Investigations on forest litter. Selostus: Metsäkariketutkimuksia. Ibid. 45.6.

—»— 1958. Suomen metsämaiden kivisyydestä. Summary: Stoniness of forest soil in Finland. Ibid. 49.4.

—»— 1963. Factorial experiments on forest humus decomposition. Soil Sci. 95, pp. 24—30.

V i r o, P. J. 1965. Metsämaan viljavuuden määrittämisestä. Summary: On the estimation of forest soil fertility. Comm. Inst. For. Fenn. 60.3.

W i b e c k, E. 1912. Om ljungbränning för skogskultur. Medd. stat. skogsförs. anst. 8.

—»— 1959. Norrländska skogsodlingsförsök. Kihlströms tryckeri Ab. Stockholm.

V u o r i, E. 1913. Studien über die durch Brandkultur entstandenen Nadelholzbestände des Staatsforstes Vesijako. Acta For. Fenn. 2.

SMJ. = Suomen metsänhoitoyhdistyksen julkaisuja.
= Finska forstföreningens meddelanden.